

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

**Aplikace metod vibrodiagnostiky na klíčových zařízeních**

Applying of vibrodiagnostic methods on key devices

Student:

Vojtěch Pospíšil

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2018

## Zadání bakalářské práce

Student: **Vojtěch Pospíšil**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování  
Téma: **Aplikace metod vibrodiagnostiky na klíčovách zařízeních**  
**Applying of Vibrodiagnostic Methods on Key Devices**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

V rámci objektivizace technického stavu strojních zařízení, resp. pro zvýšení spolehlivosti strojních zařízení aplikujte vhodné metody technické diagnostiky ve výrobním závodě pro automobilový průmysl.

### V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

### Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnosticke systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály firem - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 10 816 *Vibrace-Hodnocení vibračních strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

FS\_SME\_05\_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



---

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



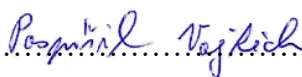
---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. května 2018

.....  
  
.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že – podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018

.....*Pospíšil Vojtěch*.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Vojtěch Pospíšil

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Buková 138, 798 48

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

POSPÍŠIL, V. *Aplikace metod vibrodiagnostiky na klíčových zařízeních: bakalářská práce.*

Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 68 s. Vedoucí práce: Blata, J.

Cílem bakalářské práce je určit technický stav elektromotorů a čerpadel, které jsou používány ve strojírenské společnosti pro automobilový průmyslu. Ke zjištění technického stavu bude použita vibrodiagnostika. Každé strojní zařízení bude popsáno technickými parametry a bude uveden postup měření. Výsledky z měření budou zpracovány a vyhodnoceny.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

POSPÍŠIL, V. *Applying of Vibrodiagnostic Methods on Key Devices: Bachelor Thesis.*

Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2018, 68 p. Thesis head: Blata, J.

The goal of this bachelor thesis is determine the technical condition of electric motors and pumps, which are used in the engineering company for the automotive industry. The vibration diagnostic will be used to determine the technical condition. Each machine will be described by the technical parameters and the measurement procedure will be given. The measurement results will be processed and evaluated.

# Obsah

	strana
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	8
1 Úvod.....	9
2 Údržba.....	10
2.1 Úloha údržby .....	10
2.2 Typy údržby .....	10
3 Vibrodiagnostika.....	12
3.1 Základní veličiny vibrací.....	12
3.2 Časový signál .....	13
3.3 FFT – Fast Fourier Transformation (Rychlá Fourierova transformace) .....	14
3.4 Trendování vibrací .....	15
3.5 Volba vhodných měřících míst .....	17
3.6 Měřící podložky a jejich způsob přichycení .....	18
3.6.1 Postup při lepení měřících bodů .....	19
4 Získání, zpracování a vyhodnocení naměřených dat.....	21
4.1 Vyhodnocení naměřených dat.....	23
4.1.1 Měření a vyhodnocení elektromotorů s odstředivými čerpadly na GWK 1 .....	25
4.1.2 Měření a vyhodnocení elektromotorů s odstředivými čerpadly na GWK 2 .....	35
4.1.3 Měření a vyhodnocení elektromotorů se zubovými čerpadly na DKB A5.....	51
5 Závěr .....	65
Seznam použité literatury .....	66
Seznam obrázků.....	67
Seznam tabulek.....	68

## Seznam použitých symbolů a zkratek

Značka	Význam	Jednotka
$a$	zrychlení vibrací	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$
$A_{\text{max}}$	maximální zrychlení vibrací	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$
$a_{\text{RMS}}$	efektivní hodnota zrychlení vibrací	g
cos	goniometrická funkce kosinus	-
dt	derivace času	-
dv	derivace rychlosti	-
dx	derivace okamžité výchylky vibrací	-
$d^2x$	derivace okamžité výchylky vibrací druhého řádu	-
f	frekvence	Hz
sin	goniometrická funkce sinus	-
t	čas	s
T	časová perioda	s
v	rychlost vibrací	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
$V_{\text{max}}$	maximální rychlost vibrací	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
$v_{\text{RMS}}$	efektivní hodnota rychlosti vibrací	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
x	okamžitá výchylka vibrací	mm
$X_{\text{max}}$	maximální výchylka vibrací	mm
$X_{\text{ave}}$	průměrná hodnota výchylky vibrací	mm
$X_{\text{RMS}}$	efektivní hodnota výchylky vibrací	mm
$\pi$	Ludolfovo číslo	-
$\omega$	úhlová rychlost	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci	
ČSN	Česká státní norma	
DKB	Doppelkopf Biegemaschine (ohýbačka s dvojitou hlavou)	
FFT	Fast Fourier Transformation (Rychlá Fourierova Transformace)	
GWK	Gesellschaft Wärme Kältetechnik GmbH (Tepelná a chladicí technika s.r.o.)	
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)	
KSB	Společnost dodávající čerpadla, ventily a související systémy (a.s.)	
RMS	Root Mean Square (efektivní hodnota)	



# 1 Úvod

S probíhajícím průmyslem 4.0 je nezbytně nutné mít kontrolu nad všemi stroji ve výrobních závodech. Tato revoluce má přinést kompletní digitalizaci, robotizaci a automatizaci většiny současných lidských činností pro zajištění větší rychlosti a efektivity výroby. I technická diagnostika má v tomto průmyslu veliký význam. Pomocí on-line sbírání dat budeme mít přehled, co se s danými stroji či motory děje. Obor Technická diagnostika se zabývá určováním technického stavu strojních dílů bez demontáže a bez přerušení nepřetržitého provozu. Do oboru technické diagnostiky patří vibrodiagnostika, tribodiagnostika, termodiagnostika, akustická diagnostika, defektoskopie apod.

Cílem této bakalářské práce je aplikace metod vibrodiagnostiky u motorů, které nikdy předtím nebyly diagnostikovány, a tudíž nebylo známo, v jaké kondici se dané motory nachází. V této práci se zaměřuji na měření a vyhodnocení elektromotorů spojených s čerpadly a hydraulikou. Zavedením vibrodiagnostiky se docílí kontrola nad danými motory a v případě zjištění nadměrných vibrací se může naplánovat odstávka pracovního celku. Nemůže tak dojít k nečekaným prostojům pracovní linky, což by mělo za důsledek velké finanční ztráty pro firmu (ztráta kusů, prostoje pracovníku...). Další výhodou může být, že firma nemusí mít peníze fixovány ve skladech náhradních dílů, protože je na danou odstávku linky (výměnu motoru) připravena dopředu.

## 2 Údržba

### 2.1 Úloha údržby

Pro tvorbu této podkapitoly byl využit zdroj [1].

Hlavní úlohou údržby je udržovat stroje, a tím předcházet poruchám. Opravy strojů jsou až následná operace, pokud dojde k poškození nějakého strojního celku. Poškození strojů můžeme předcházet mimo jiné i zavedením metod technické diagnostiky, např. vibrodiagnostika, tribodiagnostika, termodiagnostika, či jejich vzájemné kombinace. Také můžeme provádět pravidelné kontroly strojů, což nám zajišťuje preventivní údržba, o které ještě bude zmínka. Tímto vším můžeme eliminovat riziko nečekané poruchy. Naším hlavním úkolem je dosáhnout efektivnosti výroby, spolehlivosti, a především bezpečnosti strojů. Z toho vyplývá, že hlavním cílem údržby je zajistit tři vzájemně propojené požadavky:

1. Dosáhnout nejvyšší možné výkonnosti výroby:
  - Zajistit nejdelší možnou provozuschopnost a životnost stroje
  - Vyvarovat se poruchám stroje
  - Stále vylepšovat a zdokonalovat produktivitu výroby
2. Zajistit hospodárnost a klidný chod stroje – to má za důsledek lepší kvalitu výrobku za přijatelnou cenu
3. Postarat se o BOZP

### 2.2 Typy údržby

Pro tvorbu této podkapitoly byl využit zdroj [12].

- **Preventivní údržba** – Provádí se v pravidelných intervalech a slouží ke snížení pravděpodobnosti možných poruch.
- **Údržba s předem stanovenými intervaly** – Tato údržba se řadí do kategorie preventivních údržeb a provádí se v souladu s určenými časovými intervaly nebo stanoveným počtem používaných jednotek. Při této údržbě nedochází ke zkoumání předchozího stavu objektu.

- **Diagnostická údržba (údržba podle technického stavu)** – Tato údržba se skládá z kombinací monitorování, zkoušení, analýz stavu strojního zařízení a zajištění akceschopnosti údržby.
- **Prediktivní údržba (předpovídaná údržba)** – Údržba se provádí na základě předpovědí, které můžeme získat pomocí některých metod technické diagnostiky (vibrodiagnostika, tribodiagnostika, termodiagnostika...), či jejich kombinací.
- **Údržba po poruše** – Údržba se provádí až po poruše a úkolem je uvést porouchaný objekt zpět do provozu.
- **Okamžitá údržba po poruše** – Provádí se ihned po poruše, aby nedošlo k nepříjemným následkům.
- **Rozvrhovaná údržba** – Provádí se na základě stanoveného rozvrhu (časového plánu) nebo podle počtu stanovených jednotek používání.
- **Údržba na dálku** – Tato údržba se provádí bez přímého přístupu pracovníků údržby k porouchanému objektu.
- **Údržba za provozu** – Provádí se bez omezení provozu daného objektu.
- **Údržba na místě** – Provádí se přímo na místě, kde se daný objekt nachází.
- **Údržba obsluhou** – Provádí obsluha daného objektu

### 3 Vibrodiagnostika

Pro tvorbu této kapitoly a podkapitol bylo využito zdrojů [2], [3], [4], [6], [7].

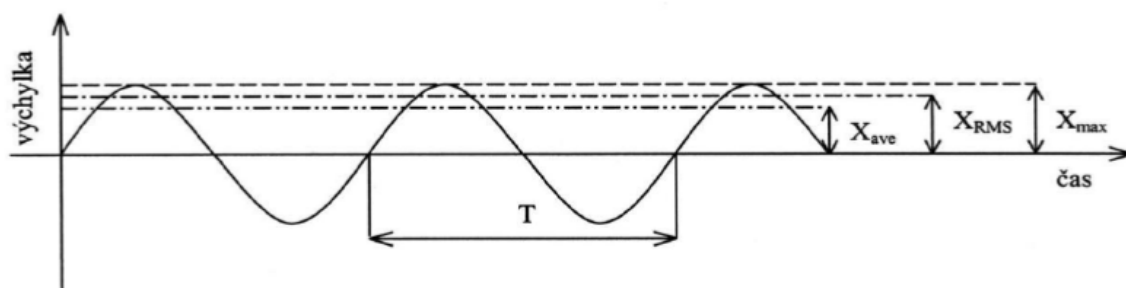
Je to jedna z metod technické diagnostiky. Tato metoda se používá u rotačních strojních zařízení, jako jsou elektromotory, čerpadla, kompresory, turbíny, ventilátory a mnoho dalších. Jako zdroj informací o technickém a provozním stavu strojního zařízení nám slouží vibrace, které mohou být vyvolány:

- Nevývahou rotujících součástí.
- Nesouosostí hřídelí.
- Poškozením ložisek.
- Špatným mazáním ložisek
- Poškozením ozubených kol.
- Zadíráním rotoru apod.

Cílem vibrodiagnostiky je zjistit technický stav strojního zařízení, popřípadě lokalizovat místo budících vibrací. Díky této metodě můžeme naplánovat odstávku strojního zařízení a také objednat potřebné díly, které jsou již za svojí životností. Dále tak můžeme snížit zbytečné preventivní kontroly, a hlavně předejít nečekaným haváriím.

#### 3.1 Základní veličiny vibrací

Základními veličinami pro vyhodnocování vibrací jsou: okamžitá výchylka, rychlost a zrychlení. Tyto veličiny vycházejí ze základních parametrů mechanického kmitání, který je periodický a má sinusový charakter.



**Obr. 1 Harmonické kmitání s uvedením maximální amplitudy, střední kvadratické a absolutní hodnoty [3]**

**Frekvence kmitání:**

$$f = \frac{1}{T} \text{ [Hz]} \quad (3.1)$$

**Okamžitá výchylka:**

$$x = X_{\max} \cdot \sin\left(2\pi \cdot \frac{t}{T}\right) = X_{\max} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = X_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \text{ [mm]} \quad (3.2)$$

**Střední absolutní hodnota:**

$$X_{\text{ave}} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| \cdot dt \text{ [mm]} \quad (3.3)$$

**Střední kvadratická hodnota:**

$$X_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T x^2 \cdot dt} \text{ [mm]} \quad (3.4)$$

$$X_{\text{RMS}} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot X_{\text{ave}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot X_{\max} \cong 0,7071 \cdot X_{\max} \text{ [mm]} \quad (3.5)$$

**Rychlost vibrací:**

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega \cdot X_{\max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{\max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = V_{\max} \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ [mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3.3)$$

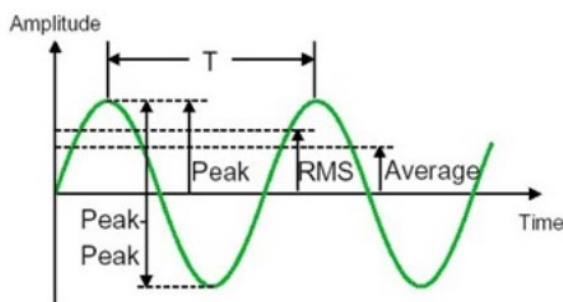
**Zrychlení vibrací:**

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 \cdot X_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t) = -A_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t) =$$

$$= A_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \pi) \text{ [mm} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (3.4)$$

## 3.2 Časový signál

Nejdůležitějšími veličinami časového signálu jsou: Peak, Peak – Peak, Average, RMS. Tyhle veličiny jsou znázorněny na obr. 2.



**Obr. 2 Znázornění časového signálu [2]**

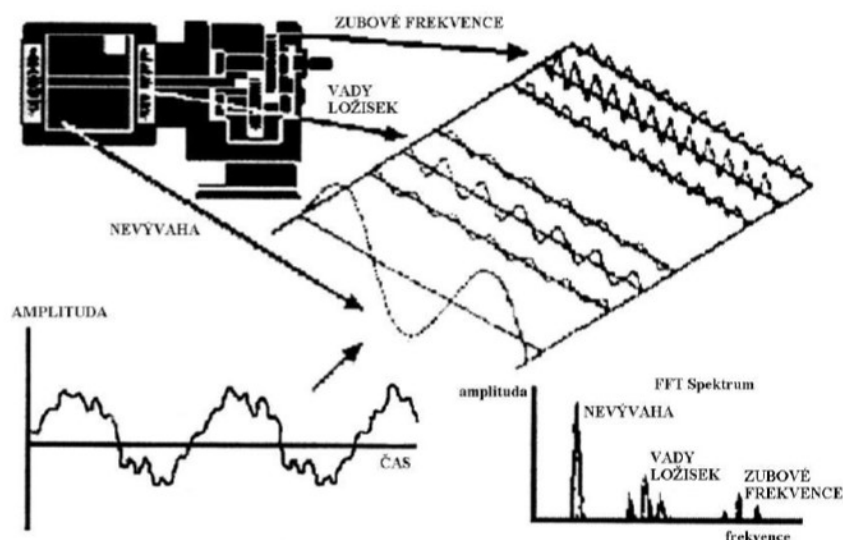
- Peak (špička) – vzdálenost mezi vrcholem sinusoidy a nulovou úrovní.
- Peak – Peak (špička – špička) – vzdálenost mezi nejnižším a nejvyšším vrcholem sinusoidy (2 x peak).
- Average (průměrná hodnota) – vzhledem k tomu, že většina průběhů má neideální sinusový charakter, tak je průměrná hodnota nenulová (0,637 x peak).
- RMS (efektivní hodnota) – tato hodnota porovnává výkon nebo energii střídavého a stejnosměrného proudu (0,707 x peak).

### 3.3 FFT – Fast Fourier Transformation (Rychlá Fourierova transformace)

Rychlá Fourierova transformace patří mezi nejpoužívanější analytickou metodu. Tato metoda hledá ve vibračním signálu opakující se děje, které se zobrazí ve frekvenčním spektru pod určitou frekvencí. Frekvenční spektrum časového signálu je tvořeno velkým množstvím sinusových signálů s danou amplitudou a počáteční fází. Tohle má veliký význam při odhalování technického stavu strojního zařízení.

Určit jednotlivé složky, ze kterých je složen původní časový signál je velmi obtížné a pracné. Z tohoto důvodu je mnohem výhodnější použít frekvenční spektrum. Z obr. 3 je patrné, že časový signál se skládá z velkého množství periodických dějů, které potřebujeme rozdělit na charakteristické frekvence (frekvence ozubení, ložisek apod.). Nejvíce dominantním signálem, který můžeme pozorovat na otáčkové frekvenci, bývá harmonický signál, což je projevem nevyváženosti. Druhý signál projevující se ve frekvenčním spektru je způsobený nesouosostí, či vadami ložiska. Třetím signálem je tzv. zubová frekvence, ve které se projevuje poškození ozubeného převodu.

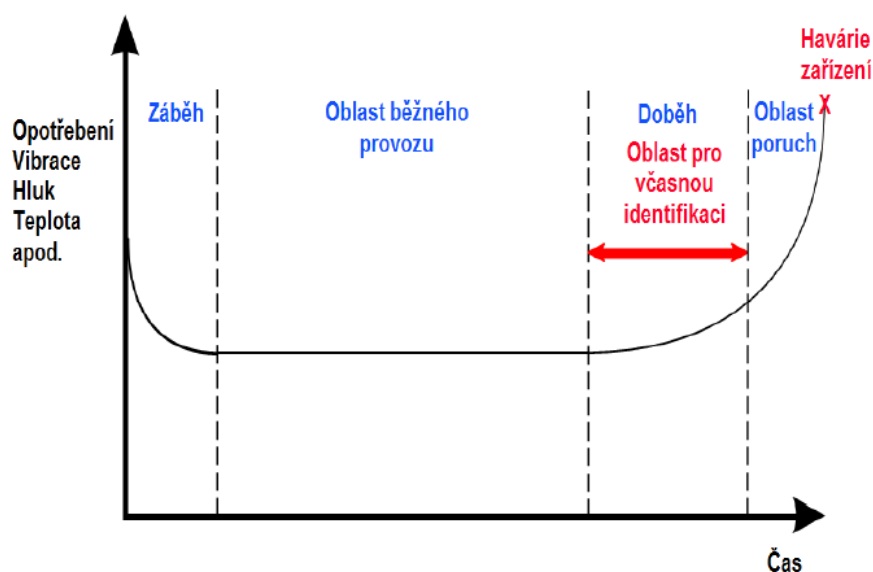
Nevyváženost je způsobená hmotností nevyvážku a projevuje se vlivem odstředivé síly 1 x za otáčku. K většímu počtu vibračních impulzů dochází u ložisek. Je to způsobeno přechodem valivých elementů přes vady ložiska. Dokonce existují vzorečky pro výpočet poruchových frekvencí ložiska. Díky těmto vzorcům můžeme určit, zda je vadný vnitřní nebo vnější kroužek, valivé tělísko, či klec. Velmi často bývají tyto frekvence uvedeny v katalogu ložiska, takže počítat nic nemusíme. Poslední signál ve frekvenčním spektru je tvořen zubovou frekvencí. Zubovou frekvenci zjistíme, když mezi sebou vynásobíme otáčkovou frekvenci hřídele s počtem zubů ozubeného kola na stejné hřídeli.



Obr. 3 Podstata FFT [3]

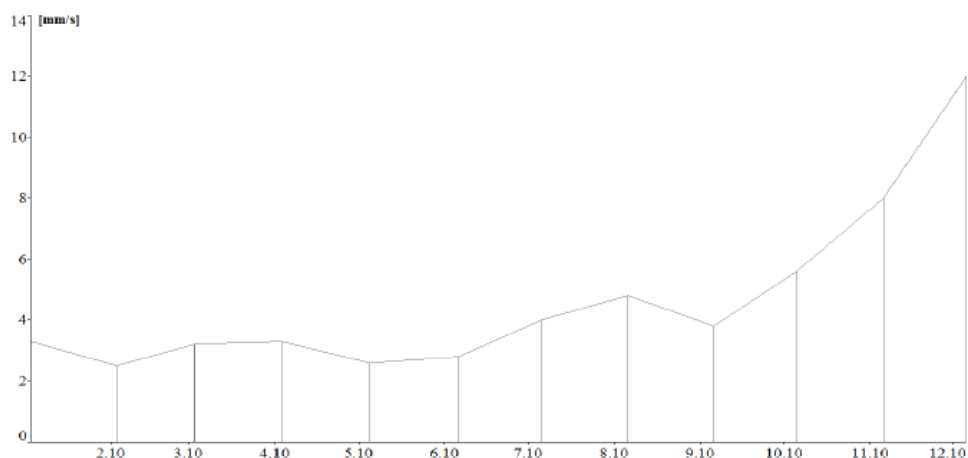
### 3.4 Trendování vibrací

Díky záznamu naměřených hodnot se vytváří trend. Porovnáním všech naměřených hodnot, nebo porovnání s normální hodnotou (můžeme vycházet z příslušné normy), dostáváme informace o technické stavu strojního zařízení a můžeme začít uvažovat, co způsobilo případně vyšší naměřenou hodnotu vibrací. Abychom získali věrohodné výsledky, je třeba provádět měření v pravidelných intervalech a porovnávat je s předchozím trendem. Nejčastěji bývají sledovány hodnoty vibrací, zrychlení, či teploty. Při shromažďování dat dochází k vytvoření tzv. Vanové křivky (Obr. 4), kde můžeme sledovat vývoj naměřených hodnot.



Obr. 4 Průběh Vanové křivky [4]

Pokud se tento vývoj zhoršuje, můžeme konstatovat, že strojní zařízení se dostává do poslední etapy životnosti, s tím souvisí i blížící se porucha. Na obr. 5 je uveden příklad, kde jsou zaznamenány hodnoty vibrací v průběhu jednoho roku. Můžeme sledovat v posledních třech měsících zhoršující se stav strojního zařízení. Pro určení kritických hodnot vibrací můžeme vycházet z normy ČSN ISO 10 816 (Obr. 6), na základě jejího doporučení, či zkušeností diagnostika si můžeme nastavit limity (alarmy), které nás budou informovat o zhoršujícím se stavu strojního zařízení.



**Obr. 5 Příklad naměřených hodnot vibrací v průběhu jednoho roku [4]**

Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]	Třída I Malé stroje do 15KW	Třída II Středně velké stroje 15-75KW	Třída II Velké stroje na pevných základech > 75KW	Třída IV Velké stroje na měkkých základech > 75KW
0,28	Green	Green	Green	Green
0,45	Green	Green	Green	Green
0,71	Green	Green	Green	Green
1,12	Yellow	Green	Green	Green
1,8	Yellow	Yellow	Green	Green
2,8	Orange	Yellow	Yellow	Green
4,5	Orange	Orange	Yellow	Yellow
7,1	Red	Orange	Orange	Yellow
11,2	Red	Red	Orange	Orange
18	Red	Red	Red	Orange
28	Red	Red	Red	Red
45	Red	Red	Red	Red

<b>A</b>	Stav nového stroje ( <b>OK</b> )
<b>B</b>	Stroj může pracovat neomezeně dlouhou dobu ( <b>OK</b> )
<b>C</b>	Stroj může pracovat jen krátkou dobu, do nejbližší opravy ( <b>VAROVÁNÍ</b> )
<b>D</b>	Velmi špatný stav stroje, hrozí poškození ( <b>NEBEZPEČÍ</b> )

**Obr. 6 Hodnoty vibrací doporučené normou [5]**



Při měření vibrací získáváme trend z rychlosti, zrychlení, popřípadě výchylky vibrací. Musíme však zajistit, aby měření probíhalo vždy za stejných podmínek. To znamená, že měřit musíme vždy při stejných otáčkách a při stejném zatížení, snímač vibrací musíme mít umístěn na stejném místě jako při předchozích měření, mít stálý tlak v potrubí, pokud měříme například vibrace u čerpadla apod.

### 3.5 Volba vhodných měřících míst

Při volbě měřících míst musíme dbát na to, aby výsledky měření zobrazovaly co nejlépe skutečnou amplitudu vibrací a díky tomu jsme mohli určit, v jaké kondici se strojní zařízení nachází.

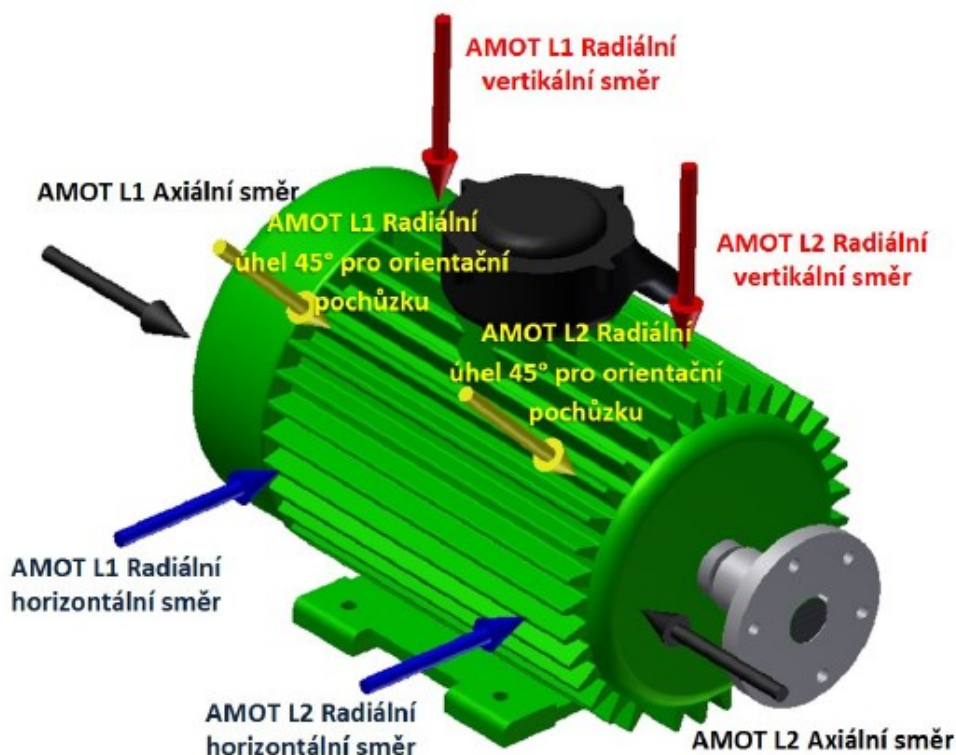
Snímače vibrací umísťujeme co nejbližší ložiskům. Je to z toho důvodu, že čím blíže bude snímač umístěn k ložiskům, tím větší bude intenzita vibračního signálu. Snímače vibrací umísťujeme v zásadě ve třech směrech, a to v horizontálním, vertikálním a axiálním směru. V horizontálním směru bývají zpravidla největší vibrace, je to způsobeno tím, že motor je v tomto směru nejvíce poddajný. Naopak v axiálním směru bývají vibrace nejmenší, kde projev těchto vibrací souvisí s nesouosostí, či ohnutým hřídelem.

Dále bychom se měli vyvarovat měření na různých krytech, přechodech apod. Je to z toho důvodu, že vibrační signál by byl zkreslený. Měření máme provádět na konstrukci, která je v přímém kontaktu s ložiskem. Měření by se mělo provádět v pravidelných intervalech na stejných místech měřeného zařízení, abychom tak mohli porovnávat naměřené výsledky a mohli z nich udělat závěr.

Snímače vibrací také není dobré umísťovat na znečištěná místa. Může dojít k tomu, že mezi povrchem měřeného zařízení a povrchem snímače budou nečistoty, které zkreslí výsledek měření.

V neposlední řadě se musí dbát na bezpečnost. Snímače neumísťujeme do míst, kde bychom mohli přijít do kontaktu s rotující částí stroje, a tak riskovat poranění. Snažíme se je dávat na vhodná a bezpečná místa. Pokud chceme umístit snímač na měřící místo, pokládáme jej nejprve šikmo, až pak celou plochou. Je to z toho důvodu, že kdybychom jej položili hned celou plochou, tak by mohlo dojít k poškození snímače vlivem velké přítláčné síly, protože snímač vibrací je magnetický.

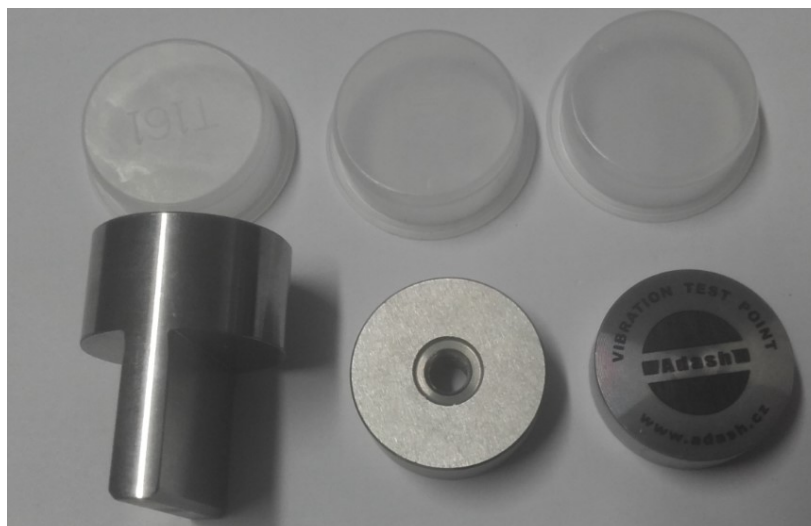
Na obr. 7 je znázorněn motor s šipkami, které nám ukazují měřicí místa pro dosažení přesných výsledků. Na obrázku také můžeme vidět žluté šipky, které jsou pod úhlem 45° pro rychlejší měření při pochůzce. Pro zjištění a identifikaci poruch je však dobré provádět měření v horizontálním, vertikálním a axiálním směru.



**Obr. 7 Možnosti umístění snímačů na motoru [4]**

### 3.6 Měřicí podložky a jejich způsob přichycení

Pokud je těleso motoru vyrobeno z litiny, či jiného nemagnetického materiálu, vzniká tu problém s přichycením snímače na těleso motoru. Proto existují tzv. měřicí podložky, které můžeme pomocí speciálního lepidla přilepit v horizontálním, vertikálním a axiálním směru. Existují dva typy měřících podložek. Prvním typem je tzv. jednoduchá podložka pro dobře dostupná místa na strojních zařízeních a druhým typem je tzv. T podložka, která se upevňuje do žeber motorů. Obě tyto podložky jsou vyráběny z magneticky nerezové oceli a jsou opatřeny plastovým krytem, který odstraňujeme pouze na měření. Jsou také opatřeny vnitřním závitem, kde můžeme zašroubovat snímač vibrací na stálo pro on – line měření. Výhodou těchto podložek je, že při pravidelných měřeních máme přesně určené měřicí místo a nemůže tak dojít k chybě, že bychom měřili na jiném místě než u předchozího měření. Další výhodou je, že snímač vibrací je připevněn na rovné ploše a nemůže tak dojít k houpání snímače.



**Obr. 8 Měřicí podložky s plastovými krytkami**

### 3.6.1 Postup při lepení měřících bodů

Nejprve si musíme určit vhodné měřící místo, tj. co nejblíže ložisku. Následně je potřeba odstranit barvu, či lak z měřícího místa (např. použitím přímé brusky s brusnými kameny, nebo smirkovým papírem), aby při lepení měřícího bodu došlo ke kontaktu kov na kov a kvalita signálu byla co nejlepší. Po odstranění barvy je potřeba tuhle plochu očistit a odmastit (líh, ředidlo).

Měřicí podložky se lepí na předem připravené měřící místo pomocí tmelu METAL TECH SG. Jedná se o dvousložkový tmel, který vytvoří po promíslení a vytvrdnutí tvrdou hmotu, která odolává tlaku, teplotě i vlhkosti.



**Obr. 9 Dvousložkový tmel METAL TECH SG [7]**

Pokud chceme připevnit jednoduchou podložku na měřící místo, postupujeme tak, že z tmelu odkrojíme ostrým nožem cca 3 mm tlusté kolečko, které nejlépe zvlhčenými prsty zpracujeme v homogenní hmotu. Z této hmoty následně vytvoříme váleček o průměru cca 2-3 mm a položíme jej na stranu podložky.



**Obr. 10 Vytvořený váleček z tmelu na měřicí podložce [7]**

Jakmile máme takto nachystanou měřicí podložku zhomogenizovaným lepidlem, uchopíme ji a přitlačíme na předem připravené místo a za stálého tlaku a současně krouživého pohybu tam i zpět lepíme na stroj tak, aby se přebytečné lepidlo pravidelně vytlačovalo po obvodu ven. Úkolem je dosáhnout co nejmenší tloušťky lepidla. Zároveň však musíme dát velký pozor na to, aby nedošlo k jejímu úplnému vytlačení. Přebytečný tmel můžeme odstranit. Posledním krokem je dát na podložku plastovou krytku, kterou odděláváme pouze při měření.

Pokud chceme upevnit speciální T podložku do žeber motoru, postupuje se obdobně jako u jednoduché podložky. Musí být očištěn a odmaštěn prostor mezi žebry, aby došlo k co nejkvalitnějšímu spojení. Následně vyplníme prostor mezi žebry tmelem a zasuneme T podložku tak, aby byla vidět pouze válcová část podložky, kolem které tmel uhladíme. Pak už jenom podložku zakryjeme plastovou krytkou.

#### 4 Získání, zpracování a vyhodnocení naměřených dat

**Tab. 1 Seznam měřených zařízení ve strojírenské společnosti pro automobilový průmysl**

Pracovní oblast	Číslo motoru v této práci + druh čerpadla	Počet měření	Datum měření
GWK 1	Elektromotor č. 35 + odstředivé čerpadlo	2	8. 12. 2017 22. 3. 2018
	Elektromotor č. 37 + odstředivé čerpadlo	2	8. 12. 2017 22. 3. 2018
	Elektromotor č. 39 + odstředivé čerpadlo	1	22. 3. 2018
GWK 2	Elektromotor č. 21 + odstředivé čerpadlo	1	22. 3. 2018
	Elektromotor č. 23 + odstředivé čerpadlo	2	8. 12. 2017 22. 3. 2018
	Elektromotor č. 25 + odstředivé čerpadlo	2	8. 12. 2017 22. 3. 2018
	Elektromotor č. 27 + odstředivé čerpadlo	1	22. 3. 2018
	Elektromotor č. 29 + odstředivé čerpadlo	2	8. 12. 2017 22. 3. 2018
	Elektromotor č. 31 + odstředivé čerpadlo	2	8. 12. 2017 22. 3. 2018
DKB A5	Elektromotor č. 13 na hydraulice + zubové čerpadlo	2	8. 12. 2017 22. 3. 2018
	Elektromotor č. 15 na hydraulice + zubové čerpadlo	2	8. 12. 2017 22. 3. 2018

První měření se uskutečnilo 8. 12. 2018 a bylo provedeno s vedoucím bakalářské práce. Tohle měření sloužilo k seznámení s vibrační analyzátozem a jeho jednotlivými funkcemi. Druhé měření bylo provedeno již samostatně.

K získání naměřených hodnot jsem použil školní vibrační analyzátor A4400 - VA4 Pro od firmy ADASH (Obr. 11). Technické parametry vibračního analyzátoru jsou uvedeny v tab. 2.

**Tab. 2 Technické specifikace analyzátoru Adash A 4400 VA4 Pro [8]**

Vstupní kanály:	- 4 AC, ICP napájení (0/1) - 4 DC pro procesní veličiny - 1 TACHO pro externí spouštění
Výstupní kanály:	- AC +/- 12 V špička – špička - DC +/- 24 V
AD převodník:	- 24 bitů, 64 bitů zpracování signálu nevyžaduje AutoGain
Dynamický rozsah S/N:	- 120 dB
Frekvenční rozsah:	- max. 90 kHz (1 Ch, 196 kHz vzorkování) - max. 25 kHz (4 Ch, 64 kHz vzorkování) - max. 25 Hz (4 Ch, 64 Hz vzorkování)
Způsob vzorkování:	- plně synchronní pro 4 kanály
Rozlišení FFT:	- min. 100 čar - max. 3 276 800 čar
Módy měření:	- Analyzátor – analytická měření - Sběrač dat – měření pochůzky - Vyvažování – provozní vyvažování strojů - Rozběhy / Doběhy - Rekordér – nahrávání signálu - Stetoskop – poslech vibračního signálu - FASIT – expertní systém pro detekci poruch - Oktávová analýza – akustická měření - Rázový test – Bump Test
Procesor:	- Intel Atom 1,6 GHz
Paměť, pochůzka:	- 120 GB, max. 4 GB pro jednu pochůzku, počet pochůzek je limitován pouze volnou pamětí
Zpracování dat:	- FFT v reálném čase - DEMOD – ENVELOPE analýza - ACMT – analýza pomaloběžných ložisek - řadová analýza - uživatelská definice pásem - měření RPM - měření DC (procesních veličin) - měření orbit
Rekordér signálu:	- vzorkovací frekvence 64 kHz - 4 Ch – spotřeba paměti 3 GB/hod - 4 Ch celková doba nahrávání – 35 hodin
Trigger (spouštění):	- manuální, externí, úrovní signálu, časem - spouštění záznamu (rekordu) - změnou otáček, časovým intervalem
Displej:	- barevný 800 x 600 bodů, LCD
Rozhraní:	- USB
Provozní teplota:	- od -10 °C do +50 °C
Napájení:	- bateriově – 5 hodin provozu, AC 230 V
Pouzdro:	- hliníkové (odolné)
Rozměry a váha:	- 230 x 140 x 60 mm - 2200 g



**Obr. 11 Vibrační analyzátor Adash A 4400 VA4 PRO včetně příslušenství**

#### 4.1 Vyhodnocení naměřených dat

Pro vyhodnocení vibrací jsem vycházel ze dvou norem: ČSN ISO 10 816 – 7 (tab. 3) a ČSN ISO 10 816 – 3 (tab. 4). První zmiňovaná norma se týká odstředivých čerpadel. Tuhle normu jsem aplikoval pro vyhodnocení vibrací na GWK 1 a GWK 2, kde je čerpaným médiem voda. Jelikož na DKB A5 není odstředivé čerpadlo, musel jsem vycházet z druhé zmiňované normy. Tato norma zahrnuje stroje střední velikosti se jmenovitým výkonem větším než 15 kW a menším nebo rovným 300 kW. Na DKB A5 jsou motory o výkonu 75kW spojeny se zubovými čerpadly, které pohání hydrauliku na celé pracovní lince. Obě tyto normy se hodnotí v pásmu 10 – 1000 Hz.

Dále jsem vyhodnocoval hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500 – 25000 Hz (tab. 5). Doporučené hodnoty zrychlení vibrací (meze pásem) určil vedoucí práce z dlouholetých zkušeností v oblasti vibrodiagnostiky. Hodnoty zrychlení vibrací nám ukazují možné problémy s ložisky, ozubením, problémy s mazáním apod.

**Tab. 3 Doporučené hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz dle ČSN ISO 10 816-7, A.1 – meze pásem vibrací na nerotujících částech odstředivých čerpadel o výkonu nad 1 kW, použitelné pro oběžná kola s počtem lopatek  $z_1 \geq 3$ . Měřenou a vyhodnocovanou veličinou je efektivní hodnota rychlosti vibrací –  $v_{RMS}$  [mm/s] [9].**

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]
A/B	2,5 mm/s
B/C	4 mm/s
C/D	6,6 mm/s

**Tab. 4 Doporučené hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz dle ČSN ISO 10 816-3, A.2 – pružné uložení.** Měřenou a vyhodnocovanou veličinou je efektivní hodnota rychlosti vibrací –  $v_{RMS}$  [mm/s] [10].

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]
A/B	2,3 mm/s
B/C	4,5 mm/s
C/D	7,1 mm/s

**Tab. 5 Doporučené hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500 - 25000 Hz (Vedoucí práce).** Měřenou a vyhodnocovanou veličinou je efektivní hodnota zrychlení vibrací –  $a_{RMS}$  [g].

Rozhraní pásem	Efektivní hodnota zrychlení vibrací [g]
A/B	0,5 g
B/C	2 g
C/D	4 g

**Pásmo A:** V tomto pásmu mají obvykle ležet vibrace nových přejímaných strojů.

**Pásmo B:** Stroje, jejichž vibrace leží v tomto pásmu, mohou být zpravidla provozovány po neomezeně dlouhou dobu.

**Pásmo C:** Stroje, jejichž vibrace leží v tomto pásmu, jsou za normálních okolností považovány za neuspokojivé pro dlouhodobý a trvalý provoz. Obecně mohou být stroje za takových podmínek provozovány do té doby, než se nalezne možnost nápravy.

**Pásmo D:** Hodnoty vibrací v rámci tohoto pásma jsou za normálních okolností považovány za natolik nebezpečné, že mohou vyvolat poškození stroje.

**Tab. 6 Výsledné hodnocení o stavu strojního zařízení:**

Celkový technický stav stroje	VYHOVUJÍCÍ	ZHORŠENÝ	NEPŘIJATELNÝ
-------------------------------	------------	----------	--------------

Číslování měřících míst je vždy od konce elektromotoru: ložisko u vrtule je značeno **L1**, ložisko v přední části motoru **L2**, ložisko na čerpadle **L3**. Každé měřící místo se měří ve třech směrech: **H** – horizontální, **V** – vertikální, **A** – axiální.



#### 4.1.1 Měření a vyhodnocení elektromotorů s odstředivými čerpadly na GWK 1

Pracovní oblast GWK 1 má celkem 4 elektromotory spojené s odstředivými čerpadly firmy KSB (Obr. 12, Obr.13). Kromě motoru č. 41 spojeného s odstředivým čerpadlem (Obr. 13), který byl po dobu obou měření mimo provoz, se povedl každý motor alespoň jeden krát změřit. Parametry jednotlivých motorů a čerpadel s hodnotami rychlosti a zrychlení vibrací budou uvedeny vždy u každého strojního zařízení jednotlivě. Pro měření všech měřících míst (L1, L2 a L3), s výjimkou čerpadla č. 35 (L3) a čerpadla č. 41 (L3), jsem použil tzv. tříosý snímač vibrací, který nám měří všechny 3 směry z jednoho místa. Důvodem, proč jsem použil právě tento snímač byl ten, že elektromotory jsou umístěny poměrně blízko sebe a nešel by přiložit snímač v horizontálním směru u motoru 35. Dalším problémem byla litinová konstrukce všech motorů, takže snímač vibrací nebylo možné připevnit na motor. Pro tento případ však existují tzv. měřící podložky, o jejich funkčnosti jsem se zmínil již v rešerši. Tyhle měřící podložky byly připevněny na motory v dostatečném předstihu před samotným měřením, a to ve vertikálním směru z důvodu lepší dostupnosti.



**Obr. 12 Elektromotor č. 35 (vpravo) a č. 37 (vlevo) + odstředivá čerpadla**



**Obr. 13 Elektromotor č. 39 (vpravo) a č. 41 (vlevo) + odstředivá čerpadla**

U všech elektromotorů byly zjištěny otáčky ze štítku s technickými parametry. Pokud by nebylo možné zjistit z jakéhokoliv důvodu otáčky elektromotoru (např. špatná čitelnost ze štítku elektromotoru), bylo by zapotřebí použít stroboskop, který bývá jednou z funkcí většiny vibroanalyzátorů. Principem stroboskopu je určení otáček na principu zmrazení pohybu. Blikáním světla stroboskopu musíme docílit synchronizace s rotací hřídele elektromotoru, pak jedno bliknutí stroboskopu odpovídá jednomu otočení hřídele.

### **Elektromotor č. 35 + odstředivé čerpadlo**

**Tab. 7 Technické parametry elektromotoru č. 35 + odstředivého čerpadla**

Elektromotor	
Název	KSB Aktiengesellschaft
Výkon	18,5 kW
Otáčky	2955 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	105 kg
Čerpadlo	
Název	KSB Aktiengesellschaft 67227 Frankenthal
Průtok	75 m <sup>3</sup> /h
Dopravní výška	56 m
Jmenovitý průměr sacího hrdla	65 mm
Jmenovitý průměr výtokového hrdla	50 mm
Jmenovitý průměr oběžného kola	200 mm

Jako první jsem měřil elektromotor v místě L1, následně v místě L2, kde jsem umístil tříosý snímač vibrací na měřicí podložku ve vertikálním směru (Obr. 14). Na měření čerpadla jsem nemohl použít tříosý snímač, protože čerpadlo nemělo na svém tělese vytvořenou rovnou plošku ve vertikálním směru. Z tohoto důvodu jsem použil na měření místa L3 tři snímače v každém směru viz obr. 15.



**Obr. 14 Pohled na měřicí místa elektromotoru č. 35: L1 (vlevo) a L2 (vpravo)**



**Obr. 15 Pohled na měřicí místo L3 odstředivého čerpadla č. 35**

Po dokončení měření vibračním analyzátozem byly výsledné hodnoty z prvního měření zpracovány a zapsány do tabulky (tab. 8). Měřená data z druhého měření jsou zpracována a zapsána do tab. 9. Hodnoty v tabulkách z měřících míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot, která uvádí norma ČSN ISO 10 316 – 7 (Tab. 3).

## 1. Měření elektromotoru č. 35 + odstředivého čerpadla (8. 12. 2017)

**Tab. 8 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 35 + odstředivého čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 2955	L2 2955	L3 2955
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	2,1	1,5	1,6
	V	3,3	2,8	1,9
	A	2,4	1,0	1,5
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,2	0,18	0,53
	V	0,09	0,13	0,73
	A	0,3	0,46	0,55
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z tabulky naměřených hodnot můžeme vidět, že všechny hodnoty jsou v zelené barvě – tudíž celkový stav stroje je považován za VYHOVUJÍCÍ. Stroje, které leží v tomto pásmu, mohou být zpravidla provozovány po neomezeně dlouhou dobu. Naměřené hodnoty zrychlení nám ukazují velmi nízké hodnoty. Z toho vyplývá, že ložiska, či lopatky oběžného kola by měly být bez výrazného poškození. Z důvodu VYHOVUJÍCÍHO stavu strojního celku neuvádím grafy frekvenčních spekter.

## 2. Měření na elektromotoru č. 35 + odstředivého čerpadla (22. 3. 2018)

Při prvním měření nebyly zjištěny žádné zhoršené nebo nepřijatelné hodnoty. Proto jsem provedl opět po více jak třech měsících nové měření. Toto měření mělo sloužit k tomu, zda je elektromotor č. 35 s odstředivým čerpadlem v ustáleném, VYHOVUJÍCÍM stavu, anebo zda se projevilo nějaké zhoršení. Výsledky z druhého měření jsou zapsány a zpracovány do tab. 9.

**Tab. 9 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 35 + odstředivého čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 2955	L2 2955	L3 2955
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	3,4	2,3	2,0
	V	2,9	1,9	1,9
	A	3,6	2,3	1,7
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,03	0,13	0,54
	V	0,04	0,12	0,76
	A	0,03	0,13	0,57
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z tabulky naměřených hodnot můžeme vidět, že celkový stav stroje je **VYHOVUJÍCÍ**. Pokud srovnáme hodnoty s prvním měřením, můžeme vidět mírný nárůst vibrací na všech měřicích místech. Jelikož nedošlo u žádného z měřicích míst k výrazně zhoršenému stavu, neuvádím grafy frekvenčních spekter.

**Doporučení:** provádět pravidelné měření a sledovat trend vibrací.

### **Elektromotor č. 37 + odstředivé čerpadlo**

**Tab. 10 Technické parametry elektromotoru č. 37**

Elektromotor	
Název	KSB Aktiengesellschaft
Výkon	15 kW
Otáčky	2940 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	84 kg

Technické parametry čerpadla neuvádím z důvodu chybějícího štítku s technickými parametry.

Při měření tohoto strojního celku byl nejprve změřen elektromotor v místě L1, následně v místě L2 a jako poslední bylo změřeno čerpadlo v místě L3. Ve všech třech měřících místech jsem použil tříosý snímač vibrací (Obr. 16).



**Obr. 16** Pohled na měřící místa motoru č. 37: L1 (vlevo), L2 (uprostřed), L3 (vpravo)

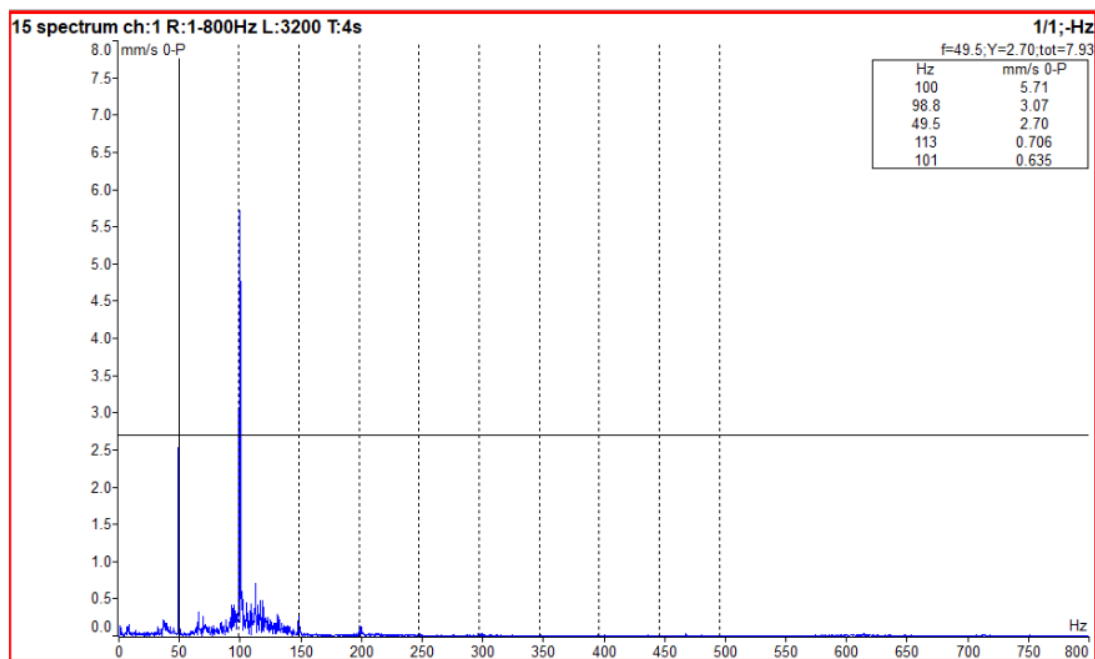
Po dokončení měření vibračním analyzátozem byly výsledné hodnoty z prvního měření zpracovány a zapsány do tab. 11. Měřená data z druhého měření jsou zpracována a zapsána do tab. 12. Hodnoty v tabulkách z měřících míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot, která uvádí norma ČSN ISO 10 316 – 7 (Tab. 3).

### 1. Měření elektromotoru č. 37 + odstředivého čerpadla (8. 12. 2017)

**Tab. 11** Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 37 + odstředivého čerpadla

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřící místo, otáčky za minutu		L1 2940	L2 2940	L3 2940
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	2,7	2,13	2,7
	V	5,4	3,1	3,0
	A	3,0	0,72	0,9
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,31	0,28	0,44
	V	0,13	0,29	0,43
	A	0,37	0,53	0,97
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z tabulky naměřených hodnot můžeme vidět, že v měřicím místě L1 ve vertikálním směru máme zvýšenou hodnotu vibrací, která leží v pásmu C. Toto pásmo nás informuje o tom, že vibrace jsou pro dlouhodobý a trvalý provoz považovány za neuspokojivé. Proto uvádím obrázek (obr. 17) frekvenčního spektra, abych zjistil důvod zvýšených vibrací. Zbytek naměřených hodnot je VYHOVUJÍCÍ. Naměřené hodnoty zrychlení vibrací nám ukazují poměrně nízké hodnoty, z tohoto důvodu není zapotřebí provést výměnu ložisek.



**Obr. 17 Spektrum rychlosti vibrací L1 (2940 ot/min), vertikální směr, elektromotor č. 37**

Z frekvenčního spektra můžeme vidět vysoký peak na otáčkové frekvenci (49,5 Hz), dále na druhém násobku síťové frekvence (100 Hz). Zvýšenou hodnotu vibrací na otáčkové frekvenci způsobuje nevývaha, která nám může způsobit poškození ložisek, také vytváří nadměrný hluk. Vysoký peak o velikosti 5,71 mm/s na dvojnásobku síťové frekvence nám značí nesymetrii elektromagnetického pole. Tuto skutečnost, že nesymetrie elektromagnetického pole se projevuje na dvojnásobku síťové frekvence (100 Hz), jsem zjistil z [4].

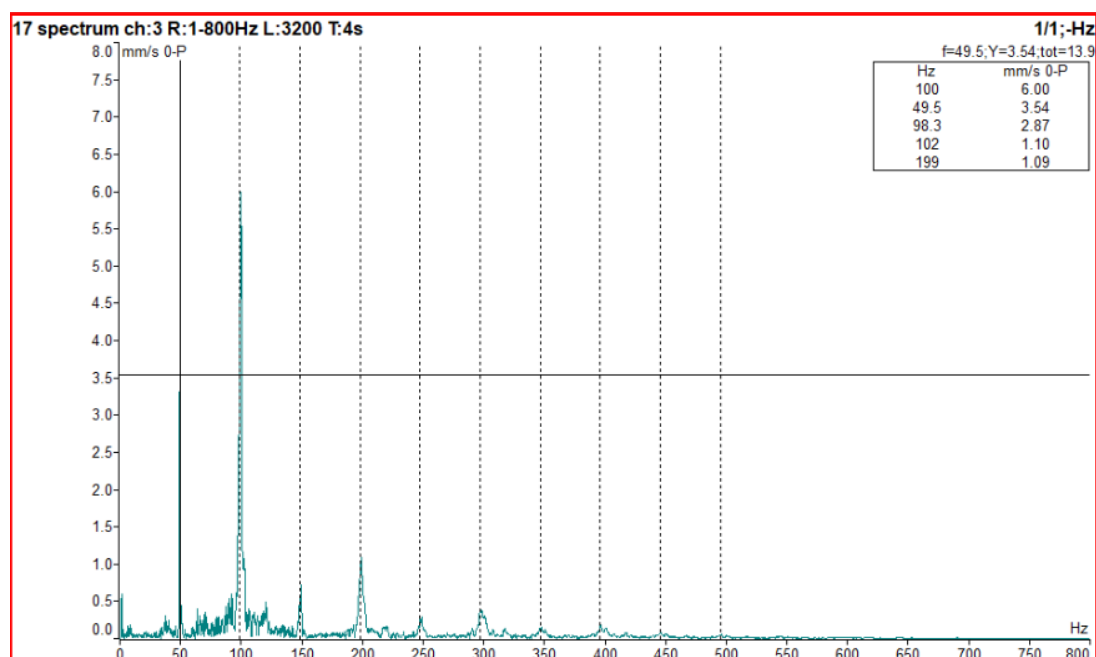
## **2. Měření na elektromotoru č. 37 + odstředivého čerpadla (22. 3. 2018)**

Při prvním měření byly zjištěny zvýšené hodnoty vibrací v měřicím místě L1 ve vertikálním směru. Z druhého měření jsem chtěl zjistit, zda se vibrace v měřicím místě L1 ve vertikálním směru dostanou do pásma D a zda se zvýšené vibrace nepřenesejí i do ostatních měřicích míst. Výsledky z druhého měření jsou uvedeny do tab. 12.

**Tab. 12 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 37 + odstředivého čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 2940	L2 2940	L3 2940
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	5,0	3,0	3,1
	V	4,4	2,5	2,7
	A	5,1	3,1	3,2
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,02	0,08	0,28
	V	0,04	0,08	0,24
	A	0,03	0,08	0,28
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z tabulky naměřených hodnot můžeme vidět, že na měřicím místě L1 jsou zvýšené hodnoty vibrací ve všech směrech, které leží v pásmu C. Tyto zvýšené hodnoty vibrací jsou v dlouhodobém provozu neuspokojivé. Proto je důležité zjistit příčinu zvýšených vibrací a udělat patřičné opatření, abychom vibrace snížili. Hodnoty zrychlení vibrací jsou nízké, není třeba provést výměnu ložisek. Dále uvádím obrázek frekvenčního spektra z měřicího místa L1 – axiální směr, kde je hodnota vibrací nejvyšší (Obr. 18).



**Obr. 18 Spektrum rychlosti vibrací L1 (2940 ot/min), axiální směr, elektromotor č. 37**



Frekvenční spektrum nám ukazuje obdobné hodnoty jako při prvním měření. Můžeme vidět vysoký peak na otáčkové frekvenci (49,5 Hz), dále na druhém násobku síťové frekvence (100 Hz). Zvýšenou hodnotu vibrací na otáčkové frekvenci způsobuje nevývaha. Vysoký peak o velikosti 6,00 mm/s na dvojnásobku síťové frekvence nám značí nesymetrii elektromagnetického pole.

**Doporučení:** při nejbližší možné odstávce by bylo vhodné motor vyměnit, dále rozebrat a prozkoumat vinutí motoru.

### Elektromotor č. 39 + odstředivé čerpadlo

**Tab. 13 Technické parametry elektromotoru č. 39 + odstředivého čerpadla**

Elektromotor	
Název	KSB Aktiengesellschaft
Výkon	7,5 kW
Otáčky	2930 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	neuvedeno
Čerpadlo	
Název	KSB Aktiengesellschaft 67227 Frankenthal
Průtok	75 m <sup>3</sup> /h
Dopravní výška	20 m
Jmenovitý průměr výtlačného hrdla	50 mm
Jmenovitý průměr oběžného kola	125 mm

Hmotnost elektromotoru není uvedena z důvodu špatné čitelnosti štítku s technickými parametry.

Při měření tohoto strojního celku byl nejprve změřen elektromotor v místě L1, následně v místě L2 a jako poslední bylo změřeno čerpadlo v místě L3. Ve všech třech měřících místech jsem použil tříosý snímač vibrací (obr. 19).



**Obr. 19 Pohled na měřicí místa motoru č. 39: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo)**

Elektromotor č. 39 s čerpadlem se povedl změřit pouze jednou, a to dne 22. 3. 2018. Při prvním termínu měření nebyl tento motor v provozu. Po dokončení měření vibračním analyzátozem byly výsledné hodnoty z tohoto měření zpracovány a zapsány do tab. 14. Hodnoty v tabulkách z měřících míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot, která uvádí norma ČSN ISO 10 316 – 7 (tab. 3).

#### **Měření elektromotoru č. 39 + odstředivého čerpadla (22. 3. 2018)**

**Tab. 14 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 39 + odstředivého čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 2930	L2 2930	L3 2930
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	2,2	2,3	2,6
	V	1,9	2,1	2,3
	A	2,2	2,4	2,7
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,03	0,06	0,07
	V	0,1	0,06	0,06
	A	0,03	0,06	0,07
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Tab. 14 nám udává VYHOVUJÍCÍ stav u všech měřicích míst, jak u hodnot vibrací, tak u hodnot zrychlení vibrací, proto není nutné provádět nějaké zásadní opatření. Grafy frekvenční spekter neuvádím z důvodu VYHOVUJÍCÍHO stavu.

**Doporučení:** provádět pravidelné měření a sledovat trend vibrací.

#### 4.1.2 Měření a vyhodnocení elektromotorů s odstředivými čerpadly na GWK 2

Pracovní oblast GWK 2 má celkem 7 elektromotorů spojené s odstředivými čerpadly (obr. 20, obr. 21). Kromě motoru č. 33 spojeného s odstředivým čerpadlem (obr. 21), který nebyl po dobu obou měření v provozu, se povedl každý motor alespoň jeden krát změřit. Pro měření všech měřicích míst (L1, L2 a L3) jsem použil tzv. tříosý snímač vibrací. Důvod, proč jsem použil právě tento snímač, je obdobný jako u pracovní oblasti GWK 1. Tříosý snímač vibrací u všech motorů byl vždy připevněn ve vertikálním směru na měřicí podložku, která byla na motor připevněna pomocí dvousložkového tmelu. U všech čerpadel byl snímač vibrací připevněn na plošku, kterou má čerpadlo vytvořenou ve vertikálním směru. Parametry jednotlivých motorů a čerpadel s hodnotami rychlosti a zrychlení vibrací budou uvedeny vždy u každého strojního zařízení jednotlivě. Dále budou uvedeny i obrázky s polohou snímače vibrací. U všech elektromotorů byly zjištěny otáčky ze štítku s technickými parametry.



**Obr. 20 Motory (č. 21, č. 23, č. 25, č. 27, č. 29) s odstředivými čerpadly na GWK 2**



**Obr. 21 Elektromotor č. 31 (vpravo) a č. 33 (vlevo) + odstředivá čerpadla na GWK 2**

### **Elektromotor č. 21 + odstředivé čerpadlo**

**Tab. 15 Technické parametry elektromotoru č. 21 + odstředivého čerpadla**

Elektromotor	
Název	KSB Aktiengesellschaft
Výkon	15 kW
Otáčky	2940 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	neuvedeno
Čerpadlo	
Název	KSB Aktiengesellschaft 67227 Frankenthal
Průtok	neuvedeno
Dopravní výška	49,5 m
Jmenovitý průměr výtlačného hrdla	50 mm
Jmenovitý průměr oběžného kola	200 mm

Hmotnost elektromotoru a průtok čerpadla nejsou uvedeny z důvodu chybějících údajů na štítku elektromotoru a čerpadla.

U tohoto zařízení byl nejprve změřen elektromotor v místě L1, následně v místě L2 a jako poslední bylo změřeno čerpadlo v místě L3 (Obr. 22).



**Obr. 22 Pohled na měřicí místa elektromotoru č. 21: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo)**

Elektromotor č. 21 s čerpadlem se povedl změřit pouze jednou, a to dne 22. 3. 2018. Při prvním termínu měření nebyl tento motor v provozu. Po dokončení měření vibračním analyzátozem byly výsledné hodnoty z tohoto měření zpracovány a zapsány do tab. 16. Hodnoty v tabulkách z měřících míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot, která uvádí norma ČSN ISO 10 316 – 7 (Tab. 3).

#### **Měření elektromotoru č. 21 + odstředivého čerpadla (22. 3. 2018)**

**Tab. 16 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 21 + odstředivého čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 2940	L2 2940	L3 2940
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	3,8	2,0	2,0
	V	3,5	1,8	1,7
	A	3,9	2,1	2,0
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,03	0,07	0,18
	V	0,05	0,07	0,20
	A	0,03	0,07	0,18
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží



Tab. 16 nám udává VYHOVUJÍCÍ stav u všech měřících míst. V měřícím místě L1 můžeme pozorovat mírně zvýšené hodnoty vibrací, které se pomalu blíží pásma C.

**Doporučení:** Z důvodu blížících se hodnot vibrací do pásma C je vhodné motor pravidelně měřit, a v případě dalšího nárůstu vibrací zjistit příčinu a určit místo budících frekvencí pomocí frekvenčního spektra.

### Elektromotor č. 23 + odstředivé čerpadlo

**Tab. 17** Technické parametry elektromotoru č. 23 + odstředivého čerpadla

Elektromotor	
Název	SIEMENS
Výkon	15 kW
Otáčky	2940 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	85 kg
Čerpadlo	
Název	KSB Aktiengesellschaft 67227 Frankenthal
Průtok	75 m <sup>3</sup> /h
Dopravní výška	42 m
Jmenovitý průměr výtlačného hrdla	50 mm
Jmenovitý průměr oběžného kola	200 mm

Nejprve byl změřen elektromotor v místě L1, následně v místě L2 a jako poslední bylo změřeno čerpadlo v místě L3 (Obr. 23).



**Obr. 23** Pohled na měřící místa motoru č. 23: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo)

Po dokončení měření vibračním analyzátozem byly výsledné hodnoty z prvního měření zpracovány a zapsány do tab. 18. Měřená data z druhého měření jsou zpracována a zapsána do tab. 19. Hodnoty v tabulkách z měřících míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot, které uvádí norma ČSN ISO 10 316 – 7 (Tab. 3).

## 1. Měření elektromotoru č. 23 + odstředivého čerpadla (8. 12. 2017)

**Tab. 18 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 23 + odstředivého čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřící místo, otáčky za minutu		L1 2940	L2 2940	L3 2940
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	2,3	1,8	1,4
	V	3,6	2,4	1,7
	A	2,4	1,3	1,1
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,28	0,19	0,10
	V	0,20	0,14	0,18
	A	0,50	0,34	0,36
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z tabulky naměřených hodnot můžeme vidět stav motoru i čerpadla, který je VYHOVUJÍCÍ. Naměřené hodnoty zrychlení nám ukazují poměrně nízké hodnoty. Z tohoto důvodu není třeba provádět výměnu ložisek.

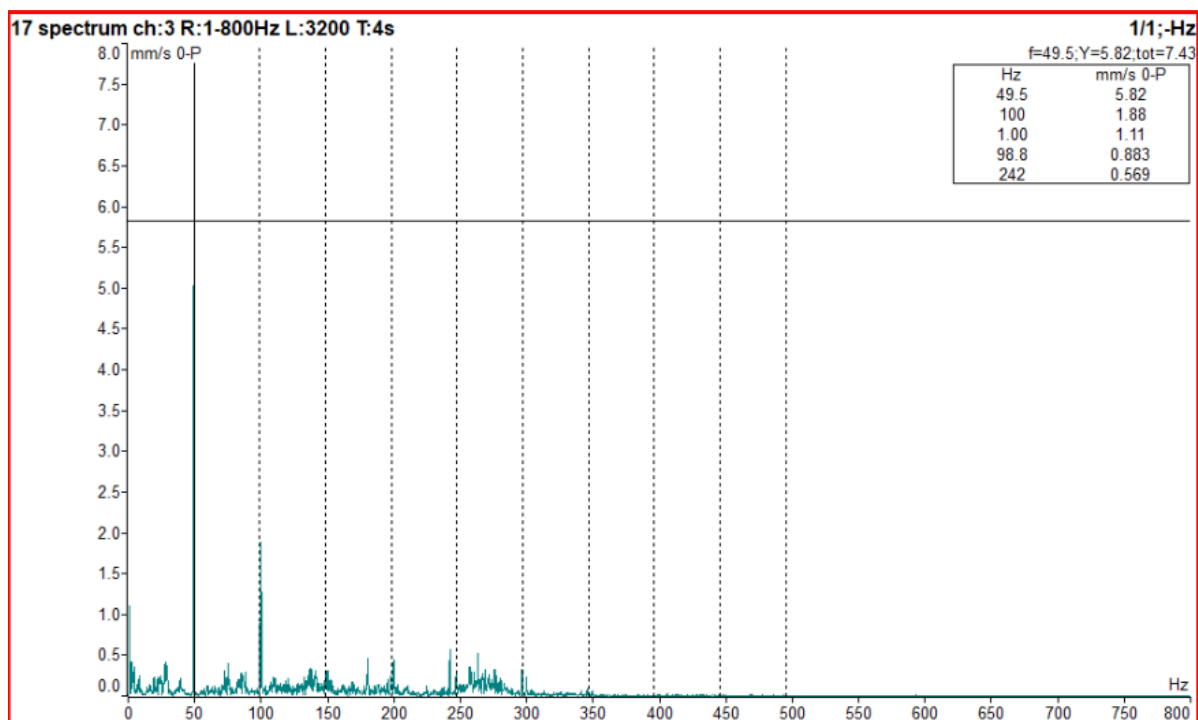
## 2. Měření na elektromotoru č. 23 + odstředivého čerpadla (22. 3. 2018)

Při prvním měření nebyly zjištěny žádné zhoršené nebo nepříjemné hodnoty. Po více jak třech měsících jsem provedl nové měření. Toto měření mělo sloužit ke srovnání hodnot s prvním měřením, a tak zjistit, zda motor s čerpadlem prokazují zhoršující se stav, anebo jsou v ustáleném stavu. Naměřené hodnoty byly zpracovány a zapsány do tab. 19.

**Tab. 19 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 23 + odstředivého čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 2940	L2 2940	L3 2940
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	5,7	3,0	2,1
	V	4,9	2,6	1,8
	A	5,9	3,1	2,2
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,02	0,05	0,08
	V	0,05	0,06	0,10
	A	0,02	0,05	0,08
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z tabulky naměřených hodnot můžeme vidět, že celkový stav stroje se ve všech měřicích místech zhoršil, nejvíce však v místě L1, kde jsou hodnoty vibrací v pásmu C. Je třeba zjistit, co je příčinou nárůstu vibrací, proto uvádím obrázek frekvenčního spektra (Obr. 24) z axiálního směru L1, kde jsou hodnoty vibrací největší.



**Obr. 24 Spektrum rychlosti vibrací L1 (2940 ot/min), axiální směr, elektromotor č. 23**



Z frekvenčního spektra můžeme vidět vysoký peak na otáčkové frekvenci (49,5 Hz), dále na druhém násobku síťové frekvence (100 Hz). Zvýšenou hodnotu vibrací (5,82 mm/s) na otáčkové frekvenci způsobuje nevývaha. Vysoký peak o velikosti 1,88 mm/s na dvojnásobku síťové frekvence nám značí nesymetrii elektromagnetického pole.

**Doporučení:** nadále sledovat trend vibrací, v případě nárůstu vibrací do pásma D je nutné naplánovat odstávku zařízení a provést výměnu motoru.

### Elektromotor č. 25 + odstředivé čerpadlo

**Tab. 20 Technické parametry elektromotoru č. 25 + odstředivého čerpadla**

Elektromotor	
Název	KSB Aktiengesellschaft
Výkon	18,5 kW
Otáčky	2955 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	neuvedeno
Čerpadlo	
Název	KSB Aktiengesellschaft 67227 Frankenthal
Průtok	75 m <sup>3</sup> /h
Dopravní výška	56 m
Jmenovitý průměr výtlačného hrdla	50 mm
Jmenovitý průměr oběžného kola	200 mm

Hmotnost motoru neuvádím z důvodu špatné čitelnosti štítku na motoru. Při měření jsem postupoval stejným způsobem jako u předchozích motorů. Nejprve byl změřen elektromotor v místě L1, následně v místě L2 a jako poslední bylo změřeno čerpadlo v místě L3 (Obr. 25).



**Obr. 25 Pohled na měřicí místa motoru č. 25: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo)**

Po dokončení měření vibračním analyzátozem byly výsledné hodnoty z prvního měření zpracovány a zapsány do tab. 21. Měřená data z druhého měření jsou zpracována a zapsána do tab. 22. Hodnoty v tabulkách z měřících míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot, která uvádí norma ČSN ISO 10 316 – 7 (Tab. 3).

## 1. Měření elektromotoru č. 25 + odstředivého čerpadla (8. 12. 2017)

**Tab. 21 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 25 + odstředivého čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřící místo, otáčky za minutu		L1 2955	L2 2955	L3 2955
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	2,2	1,0	1,2
	V	1,1	2,0	1,7
	A	1,2	1,0	1,1
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,15	0,16	0,15
	V	0,40	0,13	0,20
	A	0,32	0,40	0,55
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Hodnoty vibrací jsou v doporučených hodnotách. Také hodnoty zrychlení vibrací jsou nízké. Tento strojní celek je ve stavu VYHOVUJÍCÍM.

## 2. Měření na elektromotoru č. 23 + odstředivého čerpadla (22. 3. 2018)

První měření nám ukázalo, že motor s čerpadlem jsou ve velmi dobrém stavu. Po více jak třech měsících jsem provedl nové měření. Toto měření mělo sloužit ke srovnání hodnot s prvním měřením, a tak zjistit, zda motor s čerpadlem prokazují zhoršující se stav, anebo jsou v ustáleném stavu. Naměřené hodnoty z druhého měření jsou uvedeny v tab. 22.

**Tab. 22** Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 25 + odstředivého čerpadla

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 2940	L2 2940	L3 2940
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	3,2	2,8	2,4
	V	2,9	2,4	2,1
	A	3,3	2,8	2,5
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,06	0,14	0,17
	V	0,08	0,13	0,16
	A	0,06	0,15	0,17
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z tabulky naměřených hodnot můžeme vidět, že celkový stav stroje je ve všech měřících místech VYHOVUJÍCÍ. Oproti prvnímu měření můžeme pozorovat mírné zvýšení vibrací.

**Doporučení:** elektromotor s čerpadlem nadále pravidelně měřit a sledovat trend vibrací.

### Elektromotor č. 27 + odstředivé čerpadlo

**Tab. 23** Technické parametry elektromotoru č. 27 + odstředivého čerpadla

Elektromotor	
Název	KSB Aktiengesellschaft
Výkon	15 kW
Otáčky	2940 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	84 kg
Čerpadlo	
Název	neuvedeno
Průtok	neuvedeno
Dopravní výška	neuvedeno
Jmenovitý průměr výtlačného hrdla	neuvedeno
Jmenovitý průměr oběžného kola	neuvedeno

Technické parametry čerpadla se nepodařily zjistit z důvodu chybějícího štítku s technickými parametry.

Při měření tohoto strojního celku jsem postupoval obdobným způsobem jako v předchozích případech. Nejprve byl změřen elektromotor v místě L1, následně v místě L2 a jako poslední bylo změřeno čerpadlo v místě L3 (Obr. 26).



**Obr. 26 Pohled na měřící místa motoru č. 27: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo)**

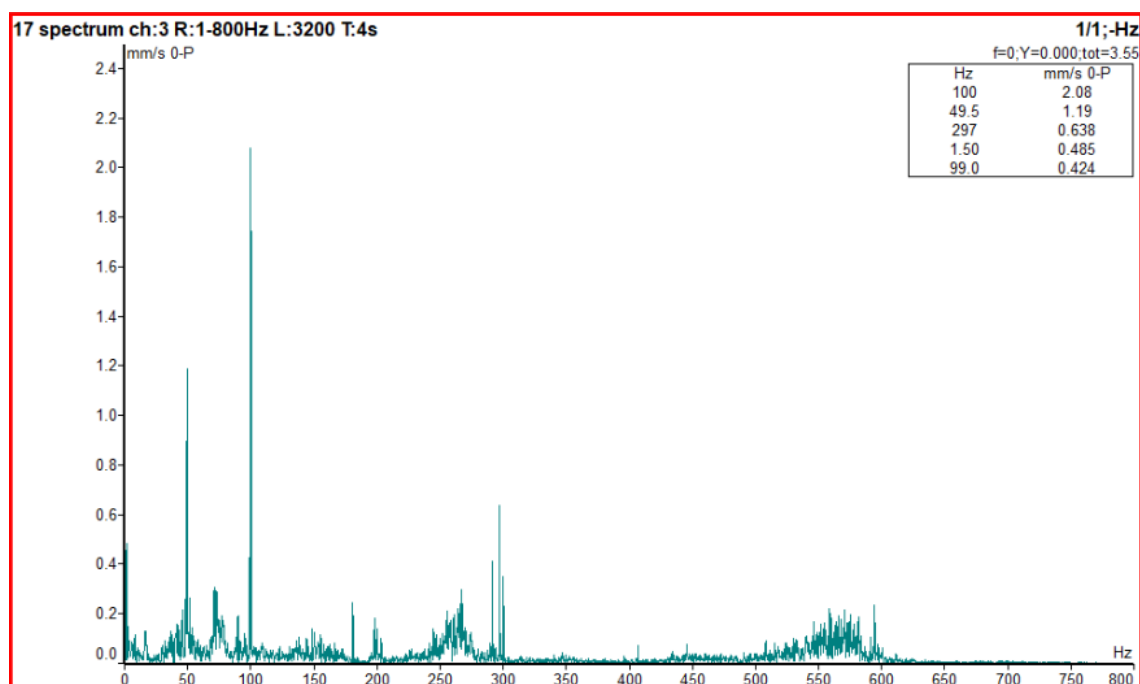
Elektromotor č. 27 s čerpadlem se povedl změřit pouze jednou, a to dne 22. 3. 2018. Při prvním termínu měření nebyl tento motor v provozu. Po dokončení měření vibračním analyzátozem byly výsledné hodnoty z tohoto měření zpracovány a zapsány do tab. 24. Hodnoty v tabulkách z měřících míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot, které uvádí norma ČSN ISO 10 316 – 7 (Tab. 3).

## Měření elektromotoru č. 27 + odstředivého čerpadla (22. 3. 2018)

**Tab. 24** Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 27 + odstředivého čerpadla

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 2940	L2 2940	L3 2940
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	4,8	3,0	2,5
	V	4,3	2,7	2,2
	A	4,9	3,1	2,5
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,02	0,04	0,32
	V	0,04	0,06	0,28
	A	0,02	0,04	0,32
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z tabulky naměřených hodnot můžeme vidět v místě L1 zvýšené hodnoty vibrací. Tyto hodnoty jsou v pásmu C, kde je dlouhodobý provoz elektromotoru neuspokojivý. Uvádím obrázek frekvenčního spektra (obr. 27) z axiálního směru.



**Obr. 27** Spektrum rychlosti vibrací L1 (2940 ot/min), axiální směr, elektromotor č. 27

Z frekvenčního spektra můžeme vidět, že zvýšené hodnoty vibrací způsobuje nesymetrie elektromagnetického pole, která se projevuje na druhém násobku síťové frekvence (100 Hz), dále nevývaha, která se projevuje na otáčkové frekvenci (49,5 Hz).

**Doporučení:** nadále sledovat trend vibrací, v případě zvýšení vibrací provést odstávku motoru a provést výměnu.

### Elektromotor č. 29 + odstředivé čerpadlo

**Tab. 25** Technické parametry elektromotoru č. 29 + odstředivého čerpadla

Elektromotor	
Název	SIEMENS
Výkon	15 kW
Otáčky	2940 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	76 kg
Čerpadlo	
Název	KSB Aktiengesellschaft 67227 Frankenthal
Průtok	75 m <sup>3</sup> /h
Dopravní výška	42 m
Jmenovitý průměr výtlačného hrdla	50 mm
Jmenovitý průměr oběžného kola	200 mm

Při měření tohoto strojního celku jsem postupoval obdobným způsobem jako v předchozích případech. Nejprve byl změřen elektromotor v místě L1, následně v místě L2 a jako poslední bylo změřeno čerpadlo v místě L3 (obr. 28).



**Obr. 28** Pohled na měřící místa motoru č. 29: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo)

Po dokončení měření vibračním analyzátozem byly výsledné hodnoty z prvního měření zpracovány a zapsány do tab. 26. Měřená data z druhého měření jsou zpracována a zapsána do tab. 27. Hodnoty v tabulkách z měřicích míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot, které uvádí norma ČSN ISO 10 316 – 7 (Tab. 3).

## 1. Měření elektromotoru č. 29 + odstředivého čerpadla (8. 12. 2017)

**Tab. 26 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 29 + odstředivého čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 2940	L2 2940	L3 2940
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	1,7	1,4	1,3
	V	3,7	1,8	1,9
	A	1,8	1,7	1,6
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,19	0,16	0,20
	V	0,11	0,12	0,33
	A	0,24	0,22	0,29
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Hodnoty vibrací jsou v doporučených hodnotách. Také hodnoty zrychlení vibrací jsou v pořádku. Tento strojní celek je ve stavu VYHOVUJÍCÍM.

## 2. Měření na elektromotoru č. 29 + odstředivého čerpadla (22. 3. 2018)

První měření nám ukázalo, že motor s čerpadlem jsou v dobrém stavu. Druhé měření mělo sloužit ke srovnání hodnot s prvním měřením, a tak zjistit, zda motor s čerpadlem prokazují zhoršující se stav, anebo jsou v ustáleném stavu. Naměřené hodnoty z tohoto měření byly zpracovány a zapsány do tab. 27.

**Tab. 27** Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 29 + odstředivého čerpadla

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 2940	L2 2940	L3 2940
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	2,8	1,2	1,8
	V	2,4	1,1	1,6
	A	2,8	1,3	1,9
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,02	0,04	0,14
	V	0,02	0,05	0,15
	A	0,02	0,04	0,16
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z druhého měření bylo zjištěno, že motor s čerpadlem jsou v ustáleném stavu. Hodnoty vibrací jsou téměř shodné s prvním měřením. Nízké hodnoty zrychlení vibrací nám ukazují, že ložiska jsou taktéž ve VYHOVUJÍCÍM stavu.

**Doporučení:** nadále měřit a sledovat trend vibrací.

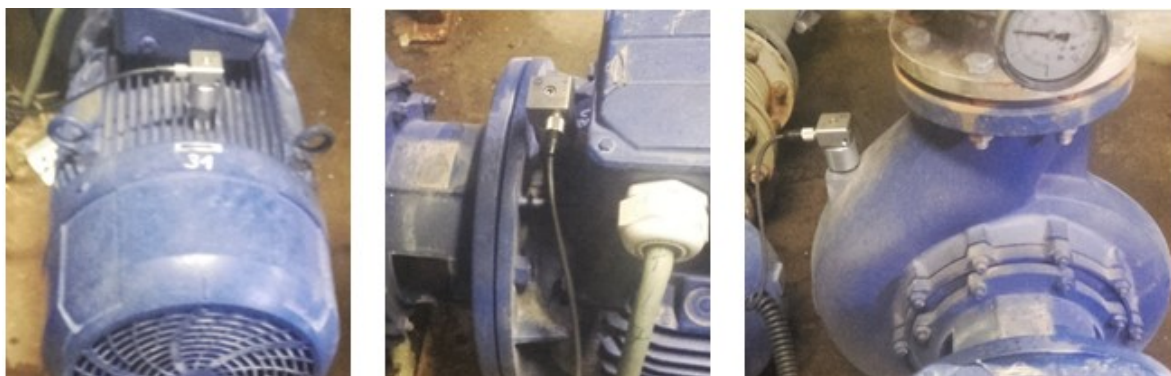
### Elektromotor č. 31 + odstředivé čerpadlo

**Tab. 28** Technické parametry elektromotoru č. 31 + odstředivého čerpadla

Elektromotor	
Název	KSB Aktiengesellschaft
Výkon	18,5 kW
Otáčky	1465 min <sup>-1</sup>
Hmotnost	neuvedeno
Čerpadlo	
Název	KSB Aktiengesellschaft 67227 Frankenthal
Průtok	225 m <sup>3</sup> /h
Dopravní výška	19 m
Jmenovitý průměr výtlačného hrdla	125 mm
Jmenovitý průměr oběžného kola	250 mm



Hmotnost motoru neuvádím z důvodu špatné čitelnosti štítku na motoru. Při měření jsem postupoval stejným způsobem jako u předchozích motorů. Nejprve byl změřen elektromotor v místě L1, následně v místě L2 a jako poslední bylo změřeno čerpadlo v místě L3 (Obr. 29).



**Obr. 29 Pohled na měřicí místa motoru č. 31: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo)**

Po dokončení měření vibračním analyzátozem byly výsledné hodnoty z prvního měření zpracovány a zapsány do tab. 29. Měřená data z druhého měření jsou zpracována a zapsána do tab. 30. Hodnoty v tabulkách z měřicích míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot, která uvádí norma ČSN ISO 10 316 – 7 (Tab. 3).

### 1. Měření elektromotoru č. 31 + odstředivého čerpadla (8. 12. 2017)

**Tab. 29 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 31 + odstředivého čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 1465	L2 1465	L3 1465
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	1,0	0,7	1,1
	V	0,8	1,0	0,5
	A	0,6	0,5	0,5
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,41	0,18	0,05
	V	0,18	0,50	0,16
	A	0,13	0,33	0,30
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Hodnoty vibrací a zrychlení vibrací jsou v doporučených hodnotách. Tento strojní celek je ve VYHOVUJÍCÍM stavu.

## 2. Měření na elektromotoru č. 31 + odstředivého čerpadla (22. 3. 2018)

První měření nám ukázalo, že motor s čerpadlem jsou v dobrém stavu. Druhé měření mělo sloužit ke srovnání hodnot s prvním měřením, a tak zjistit, zda motor s čerpadlem prokazují zhoršující se stav, anebo jsou v ustáleném stavu. Naměřené hodnoty byly zpracovány a zapsány do tab. 30.

**Tab. 30 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 31 + odstředivého čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 1465	L2 1465	L3 1465
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	1,0	1,0	0,5
	V	0,9	0,9	0,5
	A	1,0	1,0	0,5
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,05	0,22	0,05
	V	0,06	0,18	0,04
	A	0,06	0,22	0,05
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z druhého měření bylo zjištěno, že motor s čerpadlem jsou v ustáleném stavu. Hodnoty vibrací jsou téměř shodné s prvním měřením. Nízké hodnoty zrychlení vibrací nám ukazují, že ložiska jsou taktéž ve VYHOVUJÍCÍM stavu.

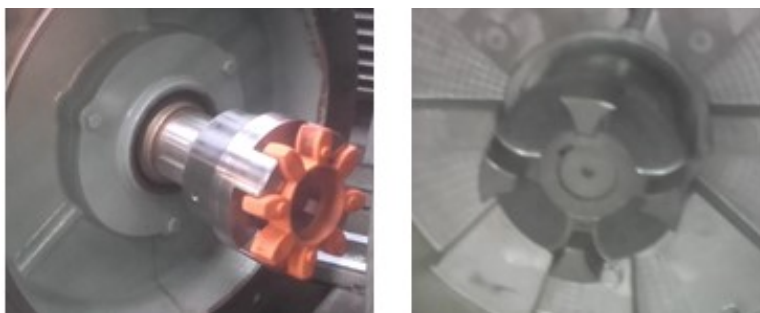
**Doporučení:** nadále měřit a sledovat trend vibrací.

#### 4.1.3 Měření a vyhodnocení elektromotorů se zubovými čerpadly na DKB A5

DKB A5 je tvářecí linka, kterou tvoří z velké části hydraulika. Hydraulika se zde stává hlavním pohonem pro ohýbání stabilizátorů pro automobilový průmysl. Je tvořena dvěma hlavními elektromotory firmy AC-Motoren GmbH (obr. 30), které jsou spojeny pomocí zubové spojky typu ROTEX GS (obr. 31) se zubovými čerpadly značky ECKERLE (obr. 32).



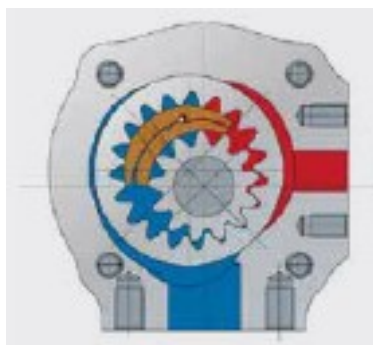
**Obr. 30 Elektromotor č. 13 (vpředu) a č. 15 (vzadu)**



**Obr. 31 Zubová spojka ROTEX GS**



**Obr. 32 Zubové čerpadlo**



**Obr. 33 Řez zubovým čerpadlem [11]**

Pro měření vibrací zubového čerpadla je dobré znát i počet zubů, abychom věděli zubovou frekvenci a mohli tak určit poruchy ozubení. Na obr. 33 vidíme řez zubovým čerpadlem, kde je hnací hřídel s ozubením uložena excentricky. Počet zubů pastorku je 13.

V nepřetržitém provozu jsou hlavní elektromotory (č. 13 a č. 15) řízené frekvenčním měničem, což je pro měření vibrací nepoužitelné. Abychom dosáhli správných výsledků měření, musíme zajistit opakovatelnost podmínek, za kterých posuzujeme stav motoru, tzn. konstantní otáčky. Z tohoto důvodu muselo být do ovládacího panelu hydrauliky zřízeno tlačítko, které umožní spuštění elektromotorů při konstantních otáčkách. Měření se provádělo při 1420 ot/min a to v době, kdy celá pracovní linka stojí, tj. v době hlavní přestávky. Otáčky byly nastaveny ručně přes ovládací panel hydrauliky.

Elektromotory č. 13 a č. 15 + zubová čerpadla se povedlo změřit dvakrát. Pro měření všech měřících míst (L1, L2 a L3) jsem použil tři snímače vibrací v každém směru (V, H, A). Parametry jednotlivých motorů a čerpadel s hodnotami rychlosti a zrychlení vibrací budou uvedeny vždy u každého strojního zařízení jednotlivě. Dále budou uvedeny i obrázky s polohou snímačů.

## Elektromotor č. 13 + zubové čerpadlo

**Tab. 31** Technické parametry elektromotoru č. 13 + zubového čerpadla

Elektromotor	
Název	AC-Motoren GmbH
Výkon	75 kW
Otáčky	1485 min <sup>-1</sup> (měření při 1420 min <sup>-1</sup> )
Hmotnost	520 kg
Čerpadlo	
Název	ECKERLE
Označení	EIPH6-125RK23-10
Objem čerpadla při 1500 ot/min	187,5 l/min
Trvalý provozní tlak	250 bar
Maximální provozní tlak	280 bar
Maximální rychlost	2200 ot/min

Jako první jsem měřil elektromotor v místě L1, následně v místě L2 (Obr. 34) a jako poslední jsem měřil čerpadlo v místě L3 (Obr. 35).



**Obr. 34** Pohled na měřicí místa motoru č. 13: L1 (vlevo), L2 (vpravo)



**Obr. 35 Pohled na měřicí místo zubového čerpadla č. 13 (L3)**

Po dokončení měření vibračním analyzátozem byly výsledné hodnoty z prvního měření zpracovány a zapsány do tab. 32. Měřená data z druhého měření jsou zpracována a zapsána do tab. 33. Hodnoty v tabulkách z měřicích míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot, která uvádí norma ČSN ISO 10 316 – 3 (Tab. 4).

### 1. Měření elektromotoru č. 13 + zubového čerpadla (8. 12. 2017)

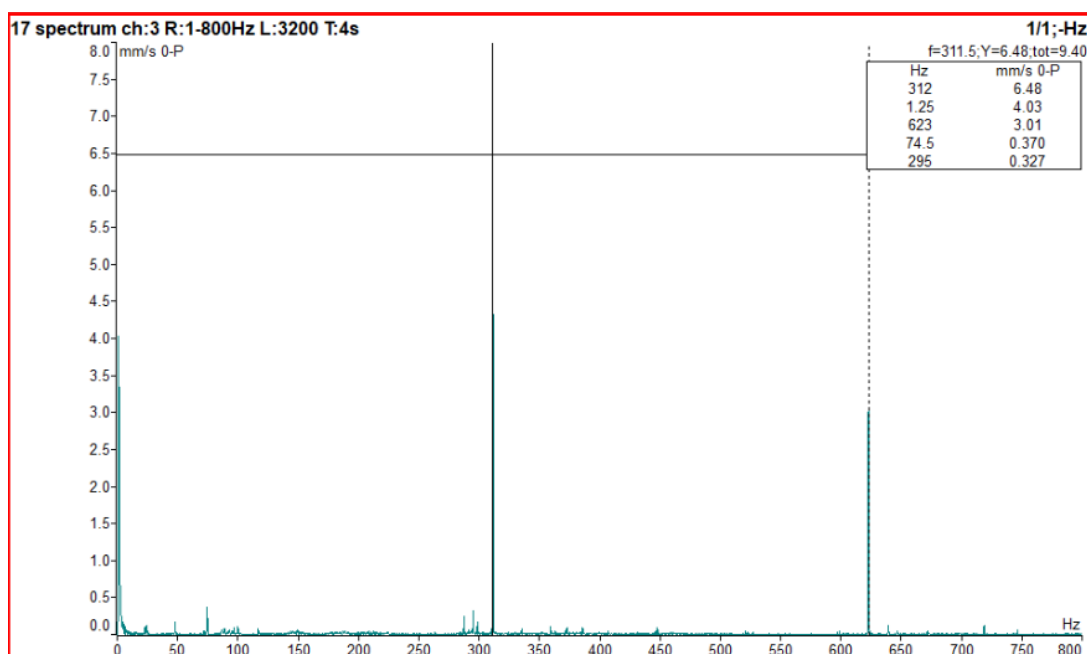
**Tab. 32 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 13 + zubového čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 1420	L2 1420	L3 1420
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	0,75	1,27	2,7
	V	0,97	1,28	2,16
	A	0,88	2,7	5,52
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	3,23	2,29	5,61
	V	5,45	2,64	4,46
	A	0,96	3,43	4,11
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Zvýšené hodnoty vibrací můžeme pozorovat v měřicím místě L3 v axiálním směru, což jsou hodnoty vibrací na čerpadle, kde se hodnoty nacházejí v pásmu C. Příčina zvýšených vibrací z měřicího místa L3 bude zjištěna z frekvenčního spektra (obr. 36). Dále v tomto měřicím místě (L3) můžeme pozorovat i zvýšené hodnoty zrychlení vibrací, které dosahují pásma D. Příčina zvýšených hodnot zrychlení vibrací v místě L3 bude uvedena na obr. 37.

Zvýšené hodnoty zrychlení vibrací můžeme pozorovat i v místě L1, kde hodnoty zrychlení vibrací dosahují ve vertikální směru pásma D, což je pro dlouhodobý provoz nebezpečné a může způsobit i poškození motoru. Příčinu zvýšených hodnot zrychlení vibrací v měřicím místě L1 uvádím na obr. 38.

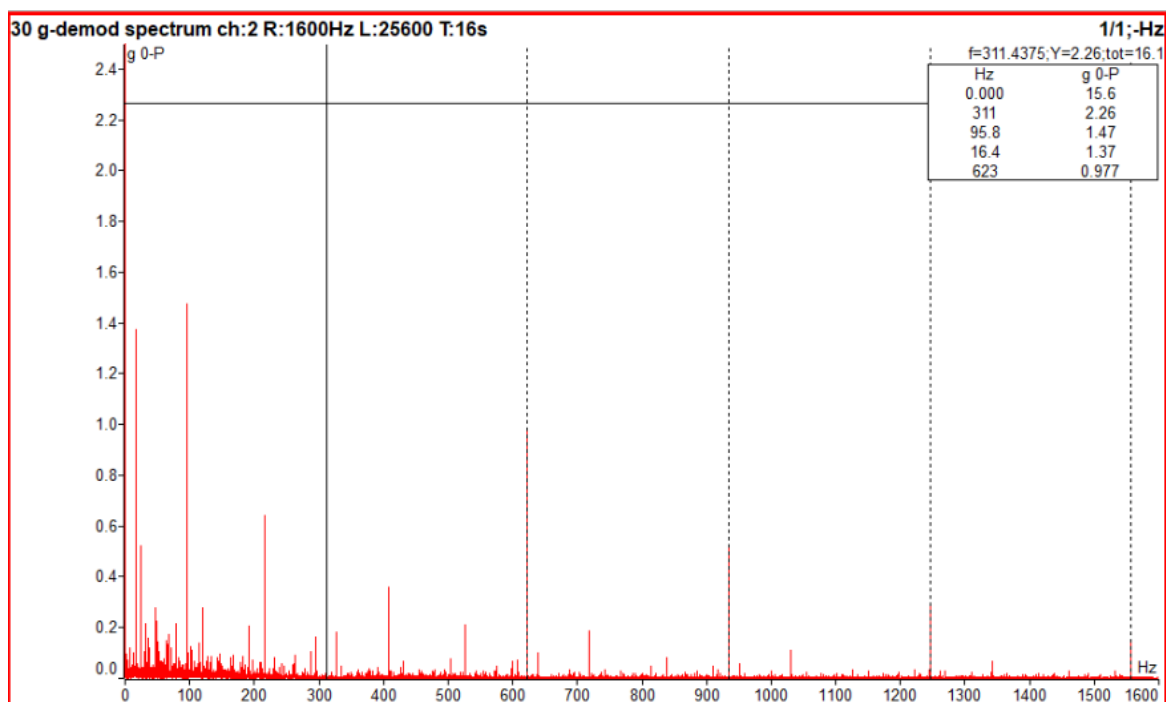
V měřicím místě L2 jsou hodnoty zrychlení vibrací v pásmu C, což je také neuspokojivé.



**Obr. 36 Spektrum rychlosti vibrací L3 (1420 ot/min), axiální směr, elektromotor č. 13**

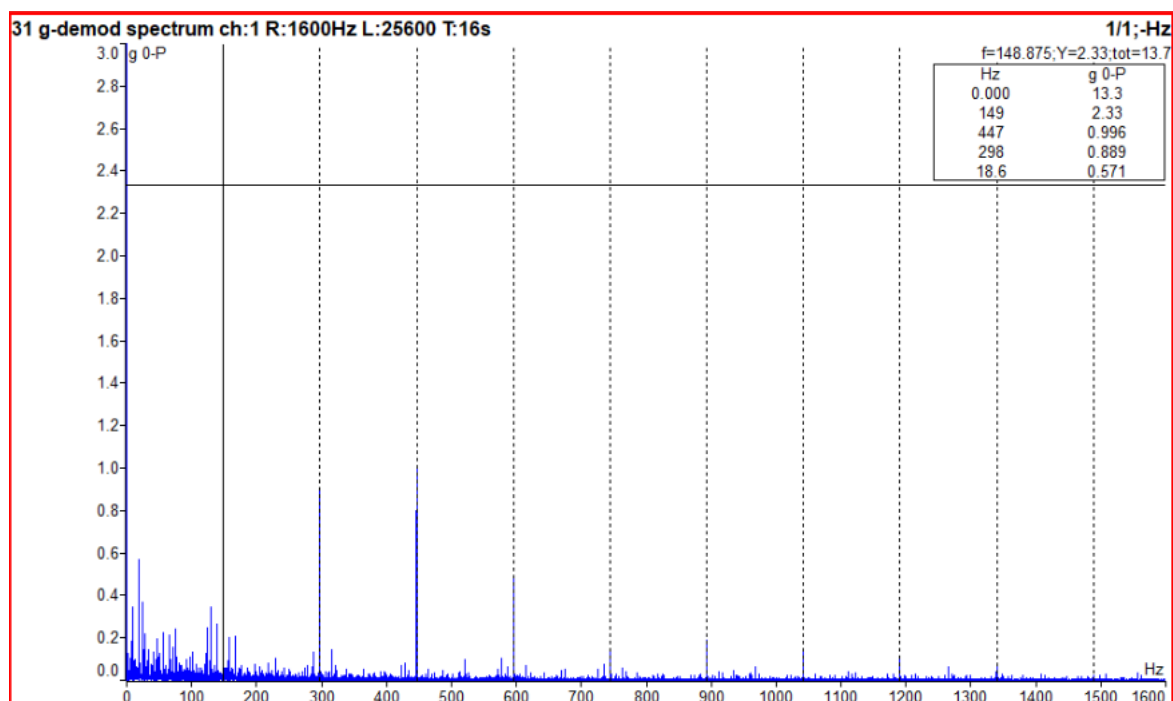
Zvýšené hodnoty vibrací můžeme pozorovat na frekvenci 312 Hz a na jejím dvojnásobku (623 Hz). S největší pravděpodobností se jedná o zubovou frekvenci. Otáčková frekvence je 23,67 Hz (1420/60). Zvýšená hodnota vibrací je na frekvenci 312 Hz. Když podělím frekvenci 312 Hz otáčkovou 23,67 Hz, dostanu číslo 13,18. V úvodu této kapitoly jsem již uvedl, že počet zubů hnacího ozubení je 13. Z tohoto důvodu můžeme předpokládat, že zvýšené hodnoty vibrací patří zubové frekvenci a jejímu násobku. To značí, že zuby jsou trvale poškozeny. Jelikož poruchy ozubení jsou vysokofrekvenční děje, uvádím obr. 37, kde bude zřejmé, že se v měřicím místě L3 jedná o poškození ozubení pastorku.





Obr. 37 Spektrum zrychlení vibrací L3 (1420 ot/min), horizontální směr, motor č. 13

Obálka nám ukazuje opakující se zubovou frekvenci (4 x), což značí poškození ozubení pastorku.



Obr. 38 Spektrum zrychlení vibrací L1 (1420 ot/min), vertikální směr, motor č. 13



Ze spektra zrychlení vibrací můžeme pozorovat vysoký peak na frekvenci 149 Hz a jejím násobku (8 x). Můžeme také pozorovat postranní pásma. Když vydělíme frekvenci 149 Hz s otáčkovou 23,67 Hz, dostaneme neceločíselnou hodnotu 6,3. Neceločíselná hodnota nám signalizuje poruchu ložiska.

## 2. Měření na elektromotoru č. 13 + zubového čerpadla (22. 3. 2018)

Druhé měření mělo sloužit ke srovnání hodnot s prvním měřením. Naměřené hodnoty byly zpracovány a zapsány do tab. 33.

**Tab. 33 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 13 + zubového čerpadla**

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 1420	L2 1420	L3 1420
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	1,0	1,5	5,3
	V	1,1	1,1	1,4
	A	1,2	5,5	4,3
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	2,69	2,39	2,50
	V	2,26	2,38	3,33
	A	1,12	1,43	3,54
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z druhého měření bylo zjištěno, že hodnoty zrychlení vibrací v místě L1 klesly. V měřicím místě L2 můžeme pozorovat nárůst vibrací v axiálním směru, kde se nám projevuje poškození zubů z čerpadla. V místě L3 nám poklesly jak hodnoty vibrací, tak hodnoty zrychlení vibrací. Po druhém měření můžeme konstatovat, že elektromotor s čerpadlem se nachází v USTÁLENÉM stavu, je tu však patrné opotřebení obou ložisek na elektromotoru. Opotřebení zubů pastorku není zatím na tolik rozsáhlé, že by muselo dojít k výměně čerpadla.

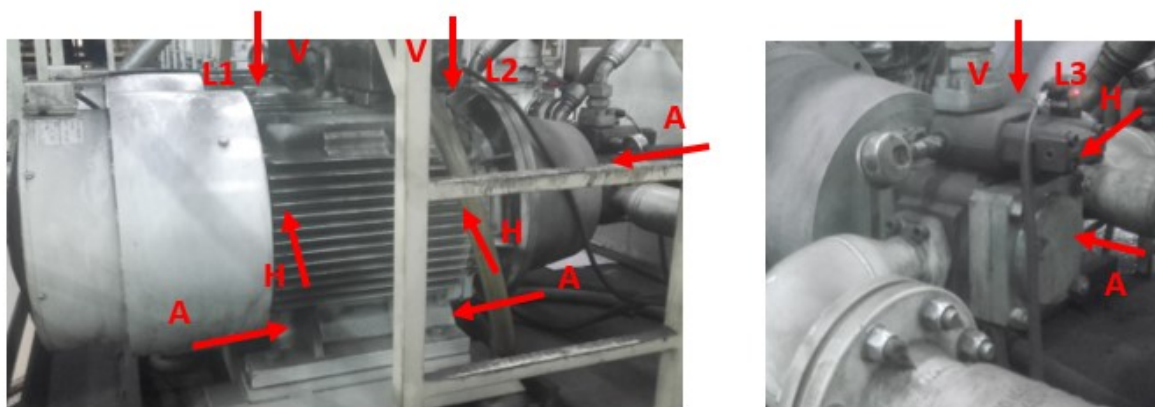
**Doporučení:** nadále měřit a sledovat trend vibrací a zrychlení vibrací a v případě nárůstu hodnot do pásma D naplánovat výměnu motoru nebo čerpadla.

## Elektromotor č. 15 + zubové čerpadlo

Tab. 34 Technické parametry elektromotoru č. 15 + zubového čerpadla

Elektromotor	
Název	AC-Motoren GmbH
Výkon	75 kW
Otáčky	1485 min <sup>-1</sup> (měření při 1420 min <sup>-1</sup> )
Hmotnost	520 kg
Čerpadlo	
Název	ECKERLE
Označení	EIPH6-125RK23-10
Objem čerpadla při 1500 ot/min	187,5 l/min
Trvalý provozní tlak	250 bar
Maximální provozní tlak	280 bar
Maximální rychlost	2200 ot/min

Jako první jsem měřil elektromotor v místě L1, následně v místě L2 a jako poslední jsem měřil čerpadlo v místě L3 (obr. 39).



Obr. 39 Pohled na měřicí místa motoru č. 15: L1, L2 (vlevo) a L3 (vpravo)

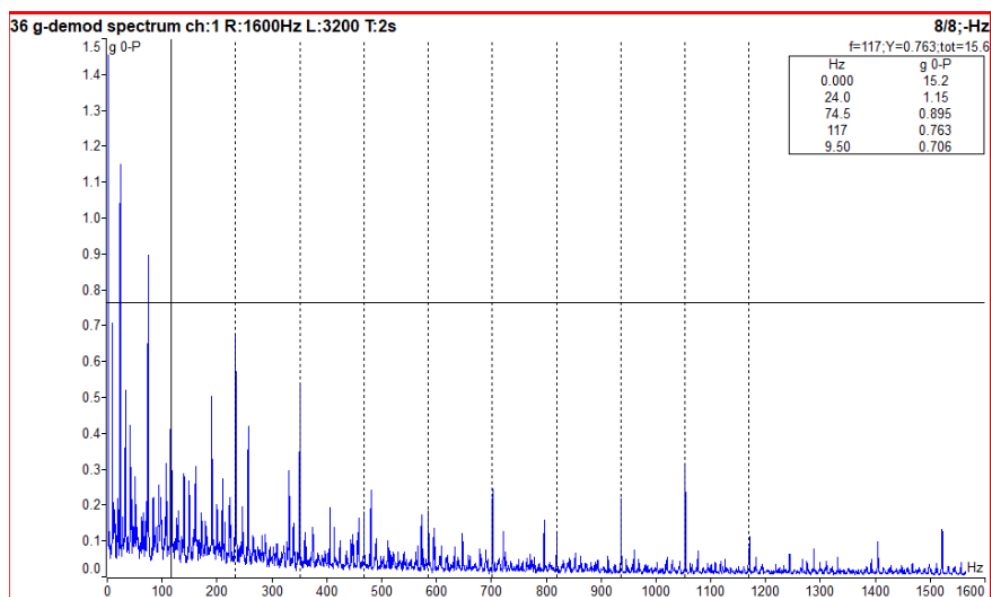
Po dokončení měření vibračním analyzátozem byly výsledné hodnoty z prvního měření zpracovány a zapsány do tab. 35. Měřená data z druhého měření jsou zpracována a zapsána do tab. 36. Hodnoty v tabulkách z měřících míst L1, L2 a L3 jsou barevně rozlišeny podle alarmujících hodnot, která uvádí norma ČSN ISO 10 316 – 3 (Tab. 4).

## 1. Měření elektromotoru č. 15 + zubového čerpadla (8. 12. 2017)

**Tab. 35 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 15 + zubového čerpadla**

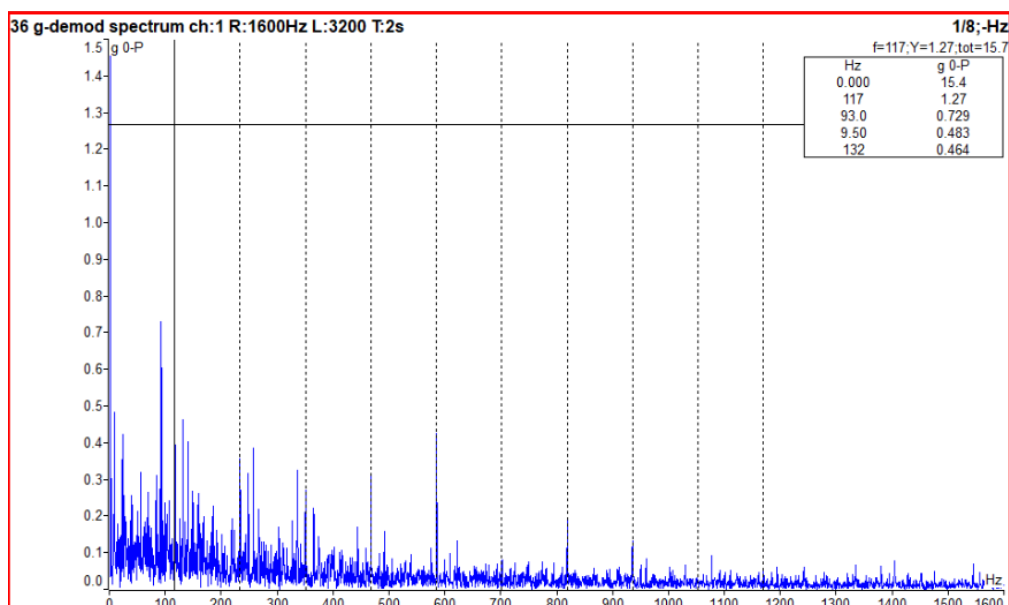
Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 1420	L2 1420	L3 1420
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	1,0	2,04	2,0
	V	1,32	1,53	2,0
	A	2,5	3,81	4,14
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	3,45	3,17	5,5
	V	5,7	5,8	5,95
	A	2,11	4,73	3,1
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

Z tabulky naměřených hodnot vidíme, že hodnoty vibrací jsou ve všech místech ve VYHOVUJÍCÍM stavu. Hodnoty zrychlení vibrací dosahují ve všech měřicích místech ve vertikálním směru pásma D, což je pro trvalý provoz velmi nebezpečné a mohlo by to způsobit poškození motoru, což by mělo za důsledek nečekané odstavení celé pracovní linky. Příčiny vysokých hodnot zrychlení vibrací ve všech měřicích místech jsou uvedeny ve spektrech: obr. 40 (L1), obr. 41 (L2) a obr. 42 (L3).



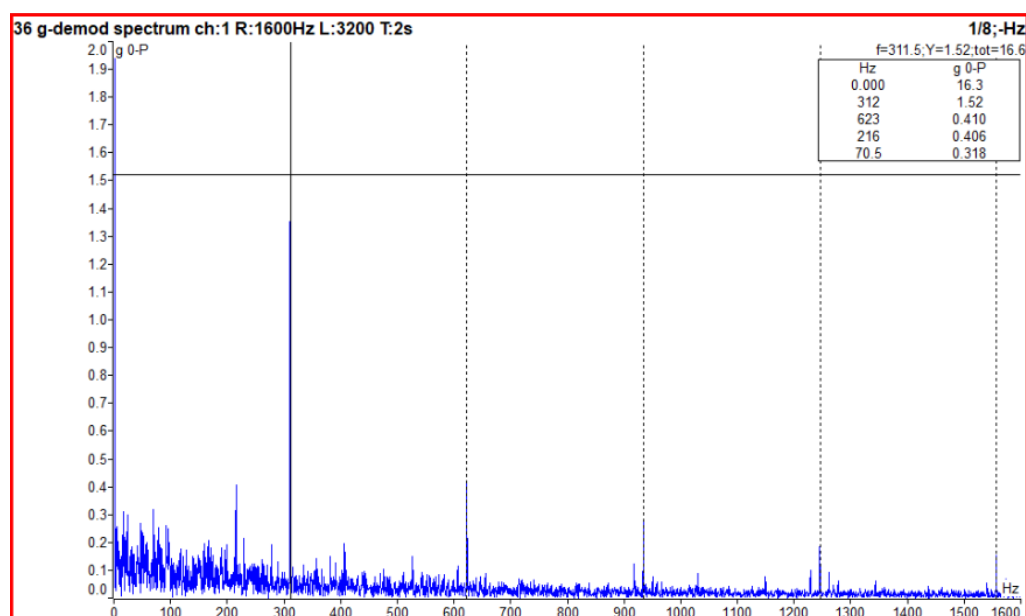
**Obr. 40 Spektrum zrychlení vibrací L1 (1420 ot/min), vertikální směr, motor č. 15**

Z obr. 40 můžeme vidět zvýšenou hodnotu zrychlení vibrací na frekvenci 117 Hz a jejím násobku (9 x). Můžeme také pozorovat postranní pásma. Když vydělíme frekvenci 117 Hz s otáčkovou frekvencí 23,67 Hz, dostaneme neceločíselnou hodnotu 4,9. Neceločíselná hodnota nám signalizuje poruchu ložiska



**Obr. 41 Spektrum zrychlení vibrací L2 (1420 ot/min), vertikální směr, motor č. 15**

Spektrum, které vidíme na obr. 41, je velmi podobné obr. 40. Je zde opakující se ložisková frekvence s postranními pásmy. I v tomto případě je ložisko poškozeno. Násobky poruchové frekvence ložiska jsou způsobeny přechodem valivých elementů přes vady ložiska.



**Obr. 42 Spektrum zrychlení vibrací L3 (1420 ot/min), vertikální směr, motor č. 15**

Ze spektra vidíme vysoký peak na frekvenci 312 Hz a její násobky (4x). Jedná se o zubovou frekvenci s postranními pásmy. Dochází tu ke kontaktu kov na kov, ozubení pastorku je opotřebené.

**Doporučení:** Hodnoty zrychlení vibrací v místě L1 a L2 dosahují pásmo D, což značí trvalé poškození obou ložisek na elektromotoru. Pokud bychom nechali elektromotor nadále v provozu s takto opotřebenými ložisky, mohlo by to způsobit havárii elektromotoru. Proto je nutné naplánovat výměnu elektromotoru v co nejbližší době. Co se týče měřicího místa L3 (čerpadlo), hodnoty zrychlení vibrací dosahují pásmo D. Jelikož se jedná o zubové čerpadlo, kde zuby pastorku jsou schopny vydržet v provozu i s mírným opotřebením, zatím bych výměnu čerpadla neprováděl.

## 2. Měření elektromotoru č. 15 + zubového čerpadla (22. 3. 2018)

Po prvním měření bylo zjištěno trvalé poškození obou ložisek na elektromotoru. Hodnoty zrychlení vibrací dosahovaly vysokých hodnot a hrozilo nebezpečí havárie. Po konzultaci s vedením strojírenské společnosti se uskutečnila dne 1.3.2018 výměna elektromotoru (obr. 43). Po výměně elektromotoru č. 15 proběhlo měření. Naměřené hodnoty byly zpracovány a zapsány do tab. 36.

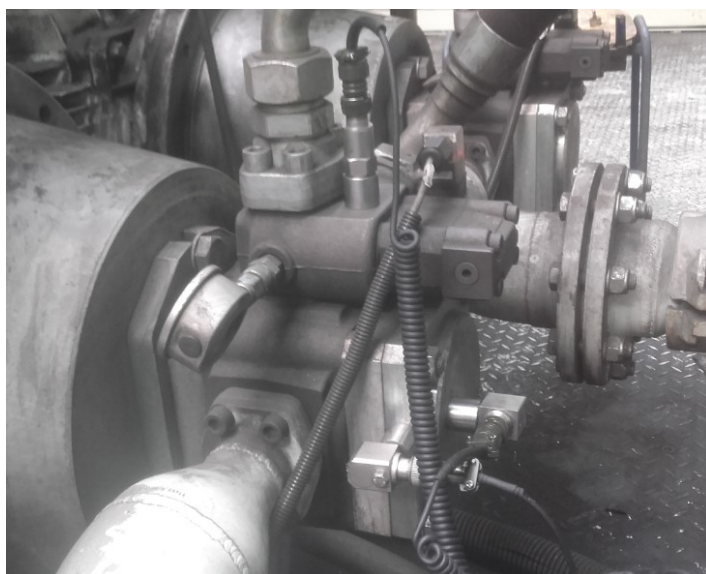


**Obr. 43 Výměna motoru č. 15: vlevo – starý elektromotor, vpravo – nový elektromotor**

Při druhém měření jsem postupoval stejně jako u prvního měření: nejprve jsem měřil v místě L1, následně v místě L2 (obr. 44) a jako poslední jsem měřil čerpadlo v místě L3 (obr. 45).



**Obr. 44 Pohled na měřicí místa motoru č. 15: L1 (vlevo), L2 (vpravo)**



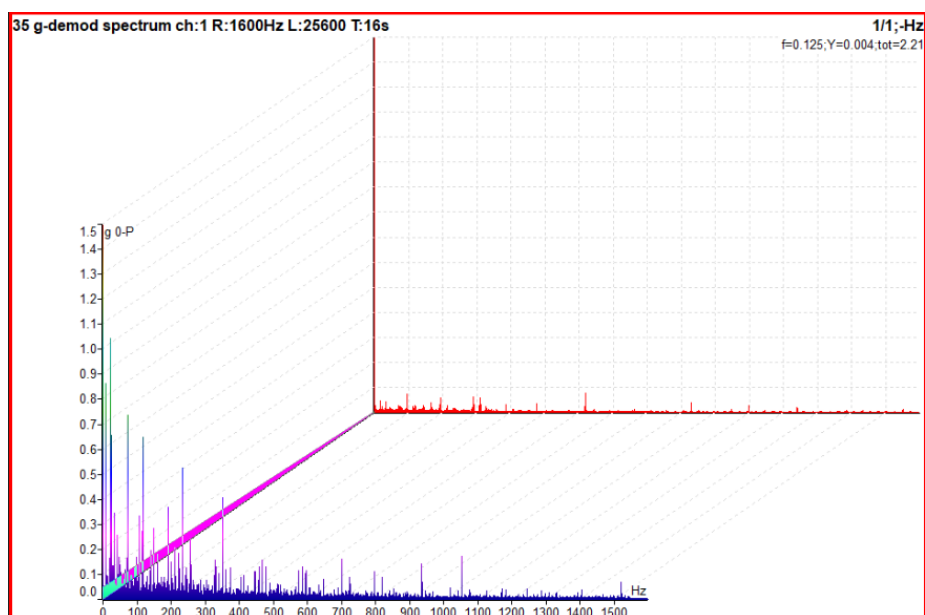
**Obr. 45 Pohled na měřicí místo zubového čerpadla č. 15 (L3)**

**Tab. 36** Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 15 + zubového čerpadla

Tabulka efektivních hodnot rychlosti vibrací v pásmu 10 – 1000 Hz ( $v_{RMS}$ ) a efektivní hodnoty zrychlení vibrací v pásmu od 500 – 25600 Hz ( $a_{RMS}$ )				
Měřicí místo, otáčky za minutu		L1 1420	L2 1420	L3 1420
Veličina	Směr			
$v_{RMS}$ [mm/s] 10 – 1000 Hz	H	1,8	2,1	3,1
	V	1,0	1,7	2,4
	A	2,1	2,5	3,4
$a_{RMS}$ [g] 500 – 25600 Hz	H	0,94	1,4	3,11
	V	0,76	1,17	8,05
	A	0,97	1,4	2,75
Pozn.		se zátěží	se zátěží	se zátěží

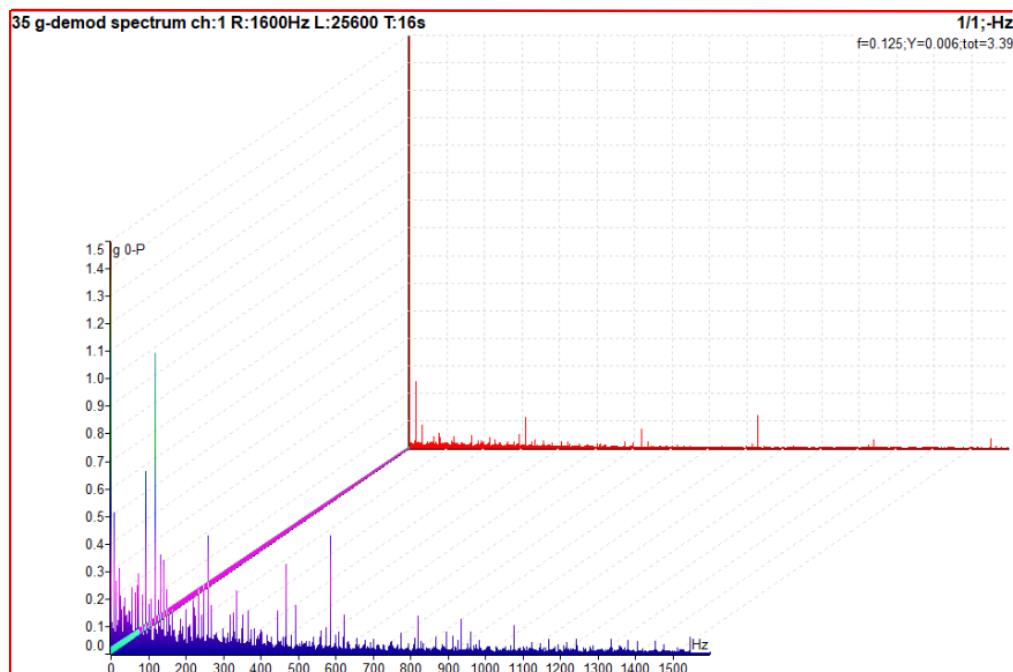
Z tabulky naměřených hodnot vidíme, že díky výměně elektromotoru došlo ke snížení zrychlení vibrací v měřicím místě L1 a L2 do stavu VYHOVUJÍCÍHO. Z měřicího místa L3 můžeme pozorovat, že došlo ve vertikálním směru k nárůstu zrychlení vibrací (obr. 48). Je to způsobeno opotřebením zubů čerpadla, jak jsem se zmínil již po prvním měření.

Dále uvádím srovnání hodnot zrychlení vibrací mezi prvním a druhým měřením v místě L1 a následně v místě L2 (obr. 46, obr. 47). Je tu vidět rozdíl mezi opotřebeným a novým ložiskem.

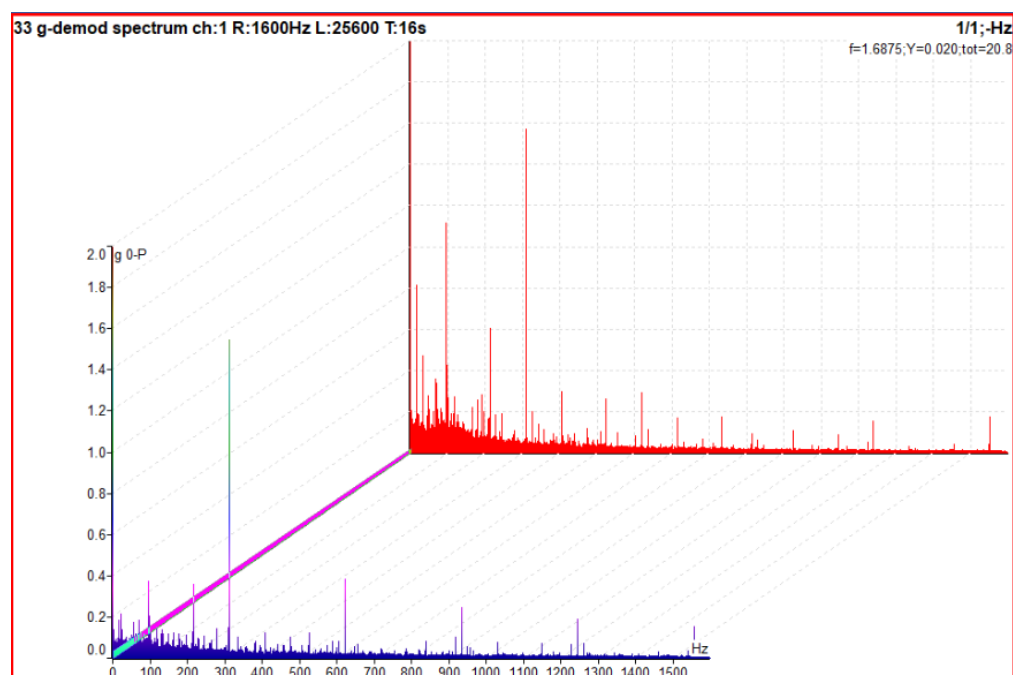


**Obr. 46** Srovnání opotřebeného a nového ložiska v místě L1





**Obr. 47 Srovnání opotřebeného a nového ložiska v místě L2**



**Obr. 48 Zhoršující se stav čerpadla (L3)**

**Doporučení:** Jelikož došlo po druhém měření k nárůstu zrychlení vibrací na čerpadle (L3), lze předpokládat, že tento trend bude dále narůstat. Proto je zapotřebí nadále měřit a sledovat trend zrychlení vibrací. V případě dalšího nárůstu zrychlení vibrací je potřeba naplánovat výměnu čerpadla.



## 5 Závěr

První část bakalářské práce se soustřeďuje na zpracování rešerši v oblasti údržby a vibrodiagnostiky. V první zmiňované oblasti jsou popsány jednotlivé typy údržeb. Kapitola vibrodiagnostika se soustřeďuje především na seznámení s veličinami rychlosti vibrací a zrychlení vibrací, dále je tu vysvětlena podstata FFT a v neposlední řadě volba vhodných měřicích míst.

Hlavní částí bakalářské práce je zhodnocení stavu měřených zařízení. Měření proběhlo ve třech pracovních oblastech: GWK 1, GWK 2, DKB A5.

U pracovní oblasti GWK 1 proběhlo měření tří elektromotorů spojených s odstředivými čerpadly. Hodnoty vibrací byly takřka u všech zařízení VYHOVUJÍCÍ, mimo elektromotoru č. 37, jehož stav je mírně zhoršený. Hodnoty zrychlení vibrací dosahovaly minimálních hodnot, proto nebylo nutné provést výměny ložisek.

U pracovní oblasti GWK 2 se podařilo změřit šest elektromotorů spojených s odstředivými čerpadly. Hodnoty vibrací zde dosahovaly pásma B, popř. pásma C. To znamená, že většina motorů jsou ve VYHOVUJÍCÍM nebo ZHORŠENÉM stavu. Pásma D žádný elektromotor ani čerpadlo nedosáhlo, proto tu není zatím nutné provádět výměnu některých motorů. Hodnoty zrychlení vibrací jsou u všech motorů a čerpadel velmi nízké, proto není třeba provádět výměny ložisek.

U elektromotorů na DKB A5 bylo zjištěno trvalé poškození ložisek, u čerpadel zase opotřebení zubů pastorku. U jednoho z elektromotorů bylo poškození ložisek natolik velké, že dne 1. 3. 2018 proběhla výměna elektromotoru. Po výměně elektromotoru proběhlo nové měření, kde hodnoty zrychlení vibrací klesly do pásma A ÷ B, tj. do stavu VYHOVUJÍCÍHO. Co se týče čerpadel, je třeba nadále měřit a sledovat trend zrychlení vibrací, v případě zhoršení provést výměnu.

## Seznam použité literatury

- [1] BILOŠ, Jan a Alena BILOŠOVÁ. *Aplikovaný mechanik jako součást týmů konstruktérů a vývojářů: Část vibrační diagnostika: studijní opora*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2012. 142 s. ISBN 978-80-248-2755-1.
- [2] Vibrodiagnostika Kateřina Jandová. - ppt stáhnout. *SlidePlayer - Nahrávejte a Sdílejte své PowerPoint prezentace* [online]. Copyright © 2018 SlidePlayer.cz Inc. [cit. 29.01.2018]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2451935/>.
- [3] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita, 2004. 178 s. ISBN 80-248-0650-9.
- [4] BLATA, Jan a Janusz JURASZEK. *Metody technické diagnostiky: teorie a praxe = Metody diagnostyki technicznej : teorie a praktyka*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. 134 s. ISBN 978-80-248-2997-5.
- [5] ČSN ISO 10816-1. *Vibrace - Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech - Část 1: Všeobecné směrnice*, 1998. 24 s. ISSN 011412.
- [6] BLATA, Jan. *Manuál pro výuku: Vibrodiagnostika strojních zařízení*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013. 24 s.
- [7] ADASH s.r.o. *Uživatelský manuál: Adash 4900 – Vibrio M*. Ostrava, 2015. 55 s.
- [8] ŠTROHALM, Petr. *Vibrodiagnostika soustruhu SV18R* [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/109745>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [9] ČSN ISO 10816-7. *Vibrace - Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech - Část 7: Odstředivá čerpadla pro průmyslová použití včetně měření na rotujících hřídelích*, 2010. 24 s.
- [10] ČSN ISO 10816-3. *Vibrace - Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 3: Průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15kW a jmenovitými otáčkami mezi 120 1/min a 15 000 1/min při měření in situ*, 2010. 20 s.
- [11] *Home - Eckerle* [online]. Copyright © [cit. 03.05.2018]. Dostupné z: [https://www.eckerle.com/files/eckerle.com/produktDaten/EHD/Prospekte/EIPH\\_2\\_3\\_5\\_6\\_EN\\_1117.pdf](https://www.eckerle.com/files/eckerle.com/produktDaten/EHD/Prospekte/EIPH_2_3_5_6_EN_1117.pdf)
- [12] ČSN EN 13306. *Údržba – terminologie údržby*, 2011. 26 s.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Harmonické kmitání s uvedením maximální amplitudy, střední kvadratické a absolutní hodnoty [3] .....	12
Obr. 2 Znázornění časového signálu [2] .....	13
Obr. 3 Podstata FFT [3] .....	15
Obr. 4 Průběh Vanové křivky [4] .....	15
Obr. 5 Příklad naměřených hodnot vibrací v průběhu jednoho roku [4] .....	16
Obr. 6 Hodnoty vibrací doporučené normou [5] .....	16
Obr. 7 Možnosti umístění snímačů na motoru [4] .....	18
Obr. 8 Měřicí podložky s plastovými krytkami .....	19
Obr. 9 Dvousložkový tmel METAL TECH SG [7] .....	19
Obr. 10 Vytvořený váleček z tmelu na měřicí podložce [7] .....	20
Obr. 11 Vibrační analyzátor Adash A 4400 VA4 PRO včetně příslušenství .....	23
Obr. 12 Elektromotor č. 35 (vpravo) a č. 37 (vlevo) + odstředivá čerpadla .....	25
Obr. 13 Elektromotor č. 39 (vpravo) a č. 41 (vlevo) + odstředivá čerpadla .....	25
Obr. 14 Pohled na měřicí místa motoru č. 35: L1 (vlevo) a L2 (vpravo) .....	27
Obr. 15 Pohled na měřicí místo L3 odstředivého čerpadla č.35 .....	27
Obr. 16 Pohled na měřicí místa motoru č. 37: L1 (vlevo), L2 (uprostřed), L3 (vpravo).....	30
Obr. 17 Spektrum rychlosti vibrací L1 (2940 ot/min), vertikální směr, elektromotor č. 37.....	31
Obr. 18 Spektrum rychlosti vibrací L1 (2940 ot/min), axiální směr, elektromotor č. 37 .....	32
Obr. 19 Pohled na měřicí místa motoru č. 39: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo) .....	34
Obr. 20 Motory (č. 21, č. 23, č. 25, č. 27, č. 29) s odstředivými čerpadly na GWK 2 .....	35
Obr. 21 Elektromotor č. 31 (vpravo) a č. 33 (vlevo) + odstředivá čerpadla na GWK 2 .....	36
Obr. 22 Pohled na měřicí místa motoru č. 21: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo) .....	37
Obr. 23 Pohled na měřicí místa motoru č. 23: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo) .....	38
Obr. 24 Spektrum rychlosti vibrací L1 (2940 ot/min), axiální směr, elektromotor č. 23 .....	40
Obr. 25 Pohled na měřicí místa motoru č. 25: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo) .....	41
Obr. 26 Pohled na měřicí místa motoru č. 27: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo) .....	44
Obr. 27 Spektrum rychlosti vibrací L1 (2940 ot/min), axiální směr, elektromotor č. 27 .....	45
Obr. 28 Pohled na měřicí místa motoru č. 29: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo) .....	46
Obr. 29 Pohled na měřicí místa motoru č. 31: L1 (vlevo), L2 (uprostřed) a L3 (vpravo) .....	49
Obr. 30 Elektromotor č. 13 (vlevo) a č. 15 (vpravo) .....	51
Obr. 31 Zubová spojka ROTEX GS .....	51
Obr. 32 Zubové čerpadlo .....	51
Obr. 33 Řez zubovým čerpadlem [11] .....	52
Obr. 34 Pohled na měřicí místa motoru č. 13: L1 (vlevo), L2 (vpravo) .....	53
Obr. 35 Pohled na měřicí místo zubového čerpadla č. 13 (L3) .....	54
Obr. 36 Spektrum rychlosti vibrací L3 (1420 ot/min), axiální směr, elektromotor č. 13 .....	55
Obr. 37 Spektrum zrychlení vibrací L3 (1420 ot/min), horizontální směr, motor č. 13.....	56
Obr. 38 Spektrum zrychlení vibrací L1 (1420 ot/min), vertikální směr, motor č. 13 .....	56
Obr. 39 Pohled na měřicí místa motoru č. 15: L1, L2 (vlevo) a L3 (vpravo) .....	58
Obr. 40 Spektrum zrychlení vibrací L1 (1420 ot/min), vertikální směr, motor č. 15 .....	59
Obr. 41 Spektrum zrychlení vibrací L2 (1420 ot/min), vertikální směr, motor č. 15 .....	60
Obr. 42 Spektrum zrychlení vibrací L3 (1420 ot/min), vertikální směr, motor č. 15 .....	60
Obr. 43 Výměna motoru č. 15: vlevo – starý elektromotor, vpravo – nový elektromotor .....	61
Obr. 44 Pohled na měřicí místa motoru č. 15: L1 (vlevo), L2 (vpravo) .....	62
Obr. 45 Pohled na měřicí místo zubového čerpadla č. 15 (L3) .....	62
Obr. 46 Srovnání opotřeбенého a nového ložiska v místě L1 .....	63
Obr. 47 Srovnání opotřeбенého a nového ložiska v místě L2 .....	64
Obr. 48 Zhoršující se stav čerpadla (L3) .....	64

## Seznam tabulek

Tab. 1 Seznam měřených zařízení ve strojírenské společnosti pro automobilový průmysl.....	21
Tab. 2 Technické specifikace analyzátoru Adash A 4400 VA4 Pro [8] .....	22
Tab. 3 Doporučené hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz dle ČSN ISO 10 816–7....	23
Tab. 4 Doporučené hodnoty rychlosti vibrací v pásmu 10-1000 Hz dle ČSN ISO 10 816–3....	24
Tab. 5 Doporučené hodnoty zrychlení vibrací v pásmu 500 - 25000 Hz (Vedoucí práce) .....	24
Tab. 6 Výsledné hodnocení o stavu strojního zařízení .....	24
Tab. 7 Technické parametry elektromotoru č. 35 + čerpadla .....	26
Tab. 8 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 35 + odstředivé čerpadlo .....	28
Tab. 9 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 35 + odstředivé čerpadlo .....	29
Tab. 10 Technické parametry elektromotoru č. 37 .....	29
Tab. 11 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 37 + odstředivé čerpadlo .....	30
Tab. 12 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 37 + odstředivé čerpadlo .....	32
Tab. 13 Technické parametry elektromotoru č. 39 + čerpadla .....	33
Tab. 14 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 39 + odstředivé čerpadlo .....	34
Tab. 15 Technické parametry elektromotoru č. 21 + čerpadla .....	36
Tab. 16 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 39 + odstředivé čerpadlo .....	37
Tab. 17 Technické parametry elektromotoru č. 23 + čerpadla .....	38
Tab. 18 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 23 + odstředivé čerpadlo .....	39
Tab. 19 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 23 + odstředivé čerpadlo .....	40
Tab. 20 Technické parametry elektromotoru č. 25 + čerpadla .....	41
Tab. 21 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 25 + odstředivé čerpadlo .....	42
Tab. 22 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 25 + odstředivé čerpadlo .....	43
Tab. 23 Technické parametry elektromotoru č. 27 + čerpadla .....	43
Tab. 24 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 27 + odstředivé čerpadlo .....	45
Tab. 25 Technické parametry elektromotoru č. 29 + čerpadla .....	46
Tab. 26 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 29 + odstředivé čerpadlo .....	47
Tab. 27 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 29 + odstředivé čerpadlo .....	48
Tab. 28 Technické parametry elektromotoru č. 31 + čerpadla .....	48
Tab. 29 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 31 + odstředivé čerpadlo .....	49
Tab. 30 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 31 + odstředivé čerpadlo .....	50
Tab. 31 Technické parametry elektromotoru č. 13 + čerpadla .....	53
Tab. 32 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 13 + zubové čerpadlo .....	54
Tab. 33 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 13 + zubové čerpadlo .....	57
Tab. 34 Technické parametry elektromotoru č. 15 + čerpadla .....	58
Tab. 35 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 15 + zubové čerpadlo .....	59
Tab. 36 Vyhodnocení naměřených hodnot elektromotoru č. 15 + zubové čerpadlo .....	63